

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

**О.П.Губарев, О.С.Ганпанцурова, К.О.Бєліков, А.М. Муращенко**

**ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОДУЛІ СИСТЕМ МЕХАТРОНІКИ З  
ПНЕВМАТИЧНИМИ, ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ ТА  
ГІДРАВЛІЧНИМИ ВИКОНАВЧИМИ ПРИСТРОЯМИ**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для студентів,  
які навчаються за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве  
машинобудування», за освітньою програмою «Автоматизовані та роботизовані  
механічні системи»*

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2020

Рецензенти: Узунов О.В., д.т.н., проф., «КПІ ім. Ігоря Сікорського»  
Грабовський Г.Г., д.т.н., проф., «КПІ ім. Ігоря Сікорського»  
Якимчук М.В., д.т.н., проф., Національний університет харчових технологій

Відповідальний редактор: Луговський О.Ф., д.т.н., проф.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 7 від 27.02.2020 р.)  
за поданням Вченої ради Інституту/факультету (протокол № 3 від 25.10.2019 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

*Губарев Олександр Павлович, д-р техн. наук, проф.  
Ганпанцурова Оксана Сергіївна, канд. техн. наук, доц.  
Беліков Костянтин Олександрович, канд. техн. наук, ст. викл.  
Муращенко Альона Миколаївна, канд. техн. наук, ст. викл.*

## ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОДУЛІ СИСТЕМ МЕХАТРОНІКИ З ПНЕВМАТИЧНИМИ, ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ ТА ГІДРАВЛІЧНИМИ ВИКОНАВЧИМИ ПРИСТРОЯМИ

Функціональні модулі систем мехатроніки з пневматичними, електромеханічними та гідравлічними виконавчими пристроями: для виконання графічно-розрахункових, курсових та дипломних робіт, групових лабораторних робіт, самостійних робіт, пов'язаних з розробкою, проектуванням, макетуванням і випробуванням мехатронних систем керування [Електронний ресурс] :навч. посіб. для студ. Спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» та освітньої програми «Автоматизовані і роботизовані механічні системи»/ О.П. Губарев, О.С. Ганпанцурова, К.О. Беліков, А.М. Муращенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 14,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 104 с.

Наведено відомості щодо модульної будови систем мехатроніки та структури інваріанта функціонального модуля, основних пневматичних, електричних, електронних і гідравлічних складових функціональних модулів, алгоритмічних складових на прикладі мови STL. Розглянуто приклади будови та необхідний склад засобів контролю і керування із застосуванням апаратних засобів контролю і керування гідропневмоавтоматики, електронних і електрорелейних пристроїв контролю і керування. Наведено приклади модулів та агрегованих макромодулів для виконання типових функцій автоматизованих систем мехатроніки з пенвматичними, електромеханічними та гідравлічними виконавчими пристроями. Матеріал вміщує питання для самоперевірки знань та завдання для самостійної роботи.

© О.П.Губарев, О.С.Ганпанцурова, К.О.Беліков, А.М. Муращенко, 2020  
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020

# З М І С Т

|   | Стор.     |
|---|-----------|
| <b>Вступ</b>  | <b>4</b>  |
| <b>1. Технічні засоби побудови модулів та умовні позначення ...</b>                               | <b>5</b>  |
| 1.1. Пневматичні і гідравлічні компоненти модулів .....   | 6         |
| 1.2. Електрорелейні та електронні компоненти модулів .....  | 14        |
| <b>2. Алгоритмічні компоненти циклічних модулів .....</b>   | <b>23</b> |
| <b>3. Пневматичні модулі бінарної дії .....</b>   | <b>36</b> |
| 3.1. Приклад №1 Пневматичний модуль завантаження .....  | 36        |
| 3.2. Приклад №2 Пневматичний модуль фіксації .....  | 38        |
| 3.3. Приклад №3 Пневматичний модуль маніпулятора .....  | 41        |
| <b>4. Гідравлічні модулі бінарної дії .....</b>   | <b>44</b> |
| 4.1. Приклад №4 Модуль гідравлічного підйомника .....   | 44        |
| 4.2. Приклад №5 Модуль транспортер гідравлічний нереверсивний                                     | 48        |
| 4.3. Приклад №6 Модуль транспортер гідравлічний реверсивний ..                                    | 51        |
| <b>5. Макромодулі із зміною налаштування параметрів .....</b>                                     | <b>55</b> |
| 5.1. Приклад №7 Модуль маніпулятора гідравлічного<br>багатопозиційного.....                       | 55        |
| 5.2. Приклад №8 Модуль гідравлічного приводу з перемиканням<br>швидкості руху .....               | 59        |
| 5.3. Приклад №9 Модуль пневматичного приводу пресу з двома<br>рівнями тиску .....                 | 64        |
| 5.3. Приклад №10 Модуль гідравлічного приводу з пропорційним<br>керуванням швидкістю .....        | 69        |
| 5.3. Приклад №11 Модуль гідравлічного приводу пресу з<br>пропорційним керуванням зусиллям .....   | 74        |
| <b>6. Електро-механічні модулі .....</b>  | <b>83</b> |
| 6.1. Приклад №12 Модуль лінійного переміщення<br>електромеханічний.....                           | 83        |
| 6.2. Приклад №13 Багатопозиційний модуль лінійного<br>переміщення електромеханічний .....         | 86        |
| 6.3. Приклад №14 Електромеханічний модуль поворотного столу...                                    | 90        |
| 6.4. Приклад №15 Електромеханічний модуль позиціонування на<br>базі крокового електромотора ..... | 93        |
| <b>Завдання для самостійної розробки мехатронних<br/>модульних систем .....</b>                   | <b>97</b> |
| <b>Рекомендована література .....</b>   | <b>98</b> |

## ВСТУП

Питання розробки і створення систем керування в мехатроніці невід’ємно пов’язано з елементною базою сучасних систем автоматики в машинобудуванні та підходами до побудови таких систем [1,3,4,5,12,13,17,18,19,21,22,24,25]. Найчастіше в системах керування поєднують апаратні та алгоритмічні компоненти, які мають не тільки суттєво різну фізичну основу, але й відрізняються за принципом дій, статичними та динамічними характеристиками, умовами використання [1, 21,23,24,25,26].

Особливості симбіозу при використанні в монолітній системі програмованих контролерів, електрорелейних схем, гідравлічних, пневматичних та електромеханічних виконавчих пристроїв, та електронних засобів контролю і керування розташовано, як найменше, в двох площинах. По-перше – це наслідок суттєво різних властивостей алгоритмічних та апаратних пневматичних і гідравлічних засобів керування. По друге – усталені традиції розробників алгоритмів керування-програмістів та розробників гідравлічних, електрорелейних і пневматичних схем. Результатом суттєвих відмінностей є виникнення доданої складності, яка не має в підґрунті реальних причин і є наслідком спроб розробника підпорядкування гідропневмоавтоматики до контролера або алгоритмів контролера до системи гідропневмоавтоматики.

Наведені методичні вказівки спрямовані на мінімізацію вказаної складності щодо поєднання механічних і алгоритмічних компонентів шляхом побудови спільної за структурою елементної бази.

В наданому матеріалі використано циклічно-модульний підхід до побудови складових системи – циклічних модулів [6,7,9]. В формі циклічних модулів представлено комплект засобів пневмоавтоматики, гідроавтоматики та електроавтоматики, що базуються на застосуванні відповідних виконавчих пристроїв. При побудові алгоритмічних компонентів використано інструменти алгоритмічної мови STL, пристрої пневмоавтоматики, гідроавтоматики та електротехніки і електроніки подано у загально відомих варіантах технічних рішень. Особливістю підходу є форма представлення та способи поєднання складових (модулів) в системі за допомогою логічних виразів, які є формалізованим виглядом умов використання модулів [7,8,9,10,32,33].

Результатом вивчення наведених матеріалів має бути створення проектів систем керування мехатронних систем з комбінуванням засобів електромеханіки, пневматики, гідравліки та вільнопрограмованих контролерів, побудованих за циклічно-модульним підходом, тобто у вигляді систем з відкритою архітектурою. Отримані рішення можуть бути перенесені на системи з використанням інших алгоритмічних мов, таких, як C, LD, ST. Завершальним етапом використання методичних вказівок є

створення фізичних макетів модулів та їх комбінацій на дидактичному обладнанні та здобуття навичок у використанні циклічно-модульного підходу при розв'язанні задач автоматизації.

Наведені приклади побудови модулів та міні-систем (макромодулів) можуть бути доповнені додатковими функціями, які визначатимуть умови активізації модулів або варіанти їх функціонування. Технічною базою побудови модулів виступають засоби пневмоавтоматики та гідроавтоматики, що може бути використано в дисциплінах, присвячених розробці та дослідженню систем гідропневмоавтоматики. Додавання до функціональних елементів гідропневмоавтоматики електромеханічних пристроїв та електрорелейних схем дозволяє перейти до дисциплін, задачами яких є розробка систем керування автоматизованих механічних об'єктів. Долучення до перелічених технічних засобів програмованих контролерів та сенсорів відкриває перехід до мехатронних модульних систем, що може бути використано в дисциплінах, присвячених розробці мехатронних модулів і систем та систем з гнучкими та рефлексивними алгоритмами керування. В сукупності наведені типові рішення дозволяють зробити перші кроки розв'язку предметних задач автоматизації, у тому числі із комбінованим використанням засобів гідропневмоавтоматики, електрорелейних схем, електроніки та вільнопрограмованих контролерів. Базові знання та навички створення систем, побудованих за циклічно-модульним підходом, дозволяють, шляхом розширення умов активізації модулів, перейти до створення систем з відкритою архітектурою. Кожний з наведених прикладів фактично є повноцінною системою, а формулювання умов та контексту їх активізації може бути традиційним – наперед детермінованим, або контекстно-утворюваним – тобто зорієнтованим на потреби зовнішньої системи з її пріоритетами та алгоритмами функціонування.

## 1. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ПОБУДОВИ МОДУЛІВ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

Наданий матеріал присвячено розгляду технічних засобів та типові рішення щодо побудови функціональних модулів. Функціональні модулі відрізняються змістом виконуваних функцій та технічними засобами, залученими для їх виконання. Технічні засоби презентовано типовими технічними рішеннями, більшість з яких присутня в каталогах провідних фірм виробників та широко відома в середовищі розробників автоматизованих об'єктів.

Технічні рішення та їх реалізація здебільшого уніфіковано настільки, що вироби різних фірм інколи можна відрізнити лише за маркуванням. З'єднувальні елементи, характеристики, діапазон умов застосування та спосіб монтажу майже не відрізняються. Досвідчені фахівці можуть відмітити різницю в таких показниках, як надійність, захищеність, стійкість до перевантаження, швидкодія, ресурс, температурна стабільність та інші. Але при побудові функціональних модулів важливою є змістовна функція пристрою, тобто перелічені відмінності не майже впливають на устрій та склад модуля. Саме з цієї причини в наведеному матеріалі та прикладах використано тільки умовні позначення без посилань на певні характеристики використаного обладнання та його походження.

На практиці при створенні кожного функціонального модуля використовуватимуть певні комплектуючі елементи та складові. Конкретний вибір обумовлено, як правило, особливостями умов та режимів виконання означених функцій, властивостями технічного об'єкта або автоматизованої системи. Наприклад, в системі фасування та пакування легкозаймистих рідких речовин не бажано використання електроконтактних пристроїв на ланці фасування, а на автоматизованих лініях харчової промисловості необхідно виключити можливість попадання токсичних речовин, що накладає обмеження на використання гідроприводу. В розглянутих прикладах побудови схемних рішень не враховано подібні особливості щодо спеціальних вимог експлуатаційного або технологічного процесу, що звужує перелік розглянутих технічних засобів, що мають широке використання у певному секторі промисловості.

В подальшому матеріалі наведено умовні позначення деяких технічних засобів, розподілені на три рівні: виконавчий, керуючий, контролюючий та логіко інформаційний. Всі три рівні підпорядковані певному типу енергоносія основного потоку, що забезпечує роботу виконавчого рівня. Для деяких пристроїв можливо їх використання за декількома призначеннями, тоді ці пристрої можуть бути представлені одразу в декількох рівнях, хоча мають одне умовне позначення. При можливості, буде вказано особливості з'єднання пристрою з іншими елементами.

Найбільш повно розглянуто традиційні засоби пневмоавтоматики. Інші сегменти техніки автоматизації, в основному, надано тільки типовими для цих сегментів пристроями, та пристроями, що мають аналоги у засобах пневмоавтоматики. Функції пристроїв можуть бути однаковими (наприклад, затримка часу), але вони суттєво відрізняються принципом дії та енергоносієм..

## 1.1. ПНЕВМАТИЧНІ І ГІДРАВЛІЧНІ КОМПОНЕНТИ МОДУЛІВ


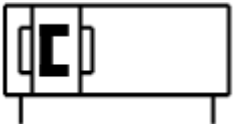

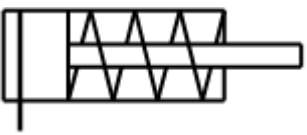

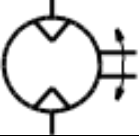

Засоби пневмоавтоматики та пневмоприводу, які традиційно використовують в якості виконавчих пристроїв при побудові функціональних модулів, можуть бути умовно розподілені на традиційні та додаткові (традиційні функції і додаткові функції – таблиці 1.1.1-1.1.4). Зауважимо, що частина з них можуть одночасно належати і до традиційних, і до додаткових. Тобто, пристрій може виконувати декілька функцій – і за основним призначенням, і додаткові функції.

Під традиційними, здебільшого, представлено пристрої, які виконують механічну роботу – пневматичні мотори різного призначення [54,55,63].



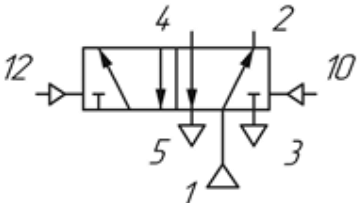
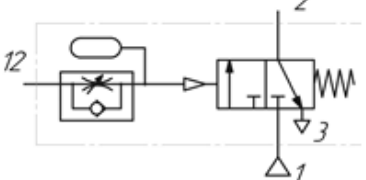
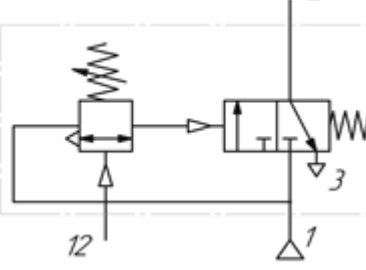
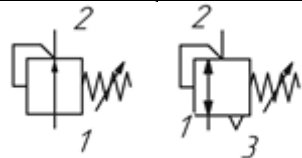

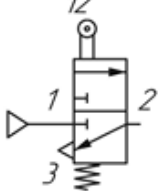
Під додатковими пристроями вирізняємо такі, що на основі виконання їх функцій можуть бути побудовані певні модулі. Наприклад, дросель, з доданим розподільним клапаном може бути залучено до лінії, а може бути виключено з лінії. На його основі може бути побудований модуль перемикання швидкості. Редукційний клапан, який з доданим розподільним клапаном може бути залучено до лінії, а може бути виключено з лінії. На його основі може бути побудовано модуль перемикання зусилля. Реле часу, що має команди вмикання і вимикання у вигляді логічних умов, дозволяє побудувати модуль затримки часу. Чотириохліпний бістабільний клапан може утворити окремий модуль - «елемент пам'яті». Так само можуть бути застосовані і інші пристрої і їх комбінації.

Пневматичні пристрої виконавчого рівня

Таблиця 1.1.1

| №                 | Назва пристрою  | Умовне позначення   | Виконувана функція  | Лінії з'єднань примітки |
|-------------------|---|---|---|-------------------------|
| <b>Традиційні</b> |   |   |   |                         |
| 1                 | Пневмоциліндр одноштоковий двосторонньої дії                  |   | Поступове переміщення під навантаженням в двох напрямках  |                         |
| 2                 | Пневмоциліндр бесштоковий двосторонньої дії                   |  | Поступове переміщення каретки під навантаженням в двох напрямках                                    |                         |
| 3                 | Пневмоциліндр бесштоковий двосторонньої дії з направляючими   |  | Поступове переміщення каретки під навантаженням в двох напрямках із захистом від проворочування     |                         |
| 4                 | Пневмоциліндр одноштоковий односторонньої дії                 |  | Поступове переміщення під навантаженням в одному напрямку та без навантаження у зворотному напрямку |                         |
| 5                 | Неповноповоротний Пневмоциліндр двосторонньої дії             |  | Обертний рух під навантаженням в двох напрямках на кут, менший за 360°                              |                         |
| 6                 | Повноповоротний пневмоциліндр двосторонньої дії (пневмомотор) |  | Обертний рух під навантаженням в двох напрямках На кут, більший за 360°                             |                         |
| 7                 | Пневматичний схват на базі циліндра двосторонньої дії         |  | Утримання предмету з поступальним рухом 2-х затискних пластин                                       |                         |

# Продовження таблиці 1.1.1

|                    |  |   |   |  |
|--------------------|--|---|---|--|
| 8                  | Пневматичний схват на базі циліндра двосторонньої дії            |    | Утримання предмету з обертним рухом затискних пластин                 | 3-х  |
| 9                  | Пневматичний схват центруючий на базі циліндра двосторонньої дії |    | Утримання предмету з поступальним рухом притискних пластин            | 3-х  |
| Додаткові пристрої |  |   |   |  |
| 10                 | Розподільчий клапан 5/2 з бістабільним пневматичним керуванням   |    | Запам'ятовування сигналу з прямим і інверсним виходами                | 1 – живлення ; 2 – інверсний вихід; 4 – прямий вихід; 3, 5 – скидання; 12 – прямий сигнал керування; 10 – інверсний сигнал керування |
| 11                 | Реле затримки часу нормально зачинене                            |   | Затримка часу – основна дія, перехід в початковий стан – інверсна дія | 1 – живлення ; 2 – прямий вихід; 3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування  |
| 12                 | Реле тиску нормально зачинене                                    |  | Вмикання/вимикання контролю зусилля                                   | 1 – живлення ; 2 – інверсний вихід; 3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.  |
| 13                 | Клапан редукційний   |  | Вмикання/вимикання додаткового рівня зусилля                          | 1 – живлення ; 2 – вихід; 3 – скидання.  |
| 14                 | Дросель із зворотнім клапаном                                    |  | Вмикання/вимикання додаткового значення швидкості                     | 1→2 – дроселювання потоку; 2→1 – обхід дроселя   |
| 15                 | Розподільчий клапан 3/2 з механічним керуванням (кінцевик)       |  | Вмикання/вимикання контролю положення                                 | 1 – живлення ; 2 – інверсний вихід; 3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.  |



### Продовження таблиці 1.1.1

|    |  |  |  |  |
|----|--|--|--|--|
| 16 | Генератор вакууму з присмоктувачем і розподільчим клапаном (вакуумний схват) |  | Утримання/відпускання предмета з плоскою поверхнею | 1 – живлення ;<br>2 – вихід;<br>3 – скидання;<br>12 – прямий сигнал керування. |
|----|--|--|--|--|

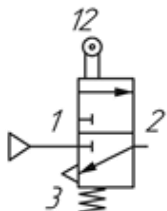
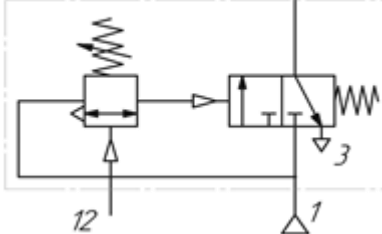
### Пневматичні засоби керуючого рівня

Таблиця 1.1.2

| № | Назва пристрою   | Умове позначення | Виконувана функція                        | Лінії з'єднань<br>Примітки  |
|---|--|------------------|---|---|
| 1 | Розподільчий клапан 4/2 (5/2) бістабільний пневматичним керуванням       |                  | Перемикання двох каналів «тиск/скидання»  | 1 – живлення ; 2, 4 – виходи;<br>3, 5 – скидання;<br>12 – прямий сигнал керування; 10 – інверсний сигнал керування. |
| 2 | Розподільчий клапан 4/2 (5/2) бістабільний електромагнітним керуванням   |                  | Перемикання двох каналів «тиск /скидання» | див. 1 табл. 3.2.   |
| 3 | Розподільчий клапан 4/2 (5/2) бістабільний ручним (фіксатор) керуванням  |                  | Перемикання двох каналів «тиск /скидання» | 1 – живлення ; 2, 4 – виходи;<br>3, 5 – скидання.   |
| 4 | Розподільчий клапан 4/2 (5/2) моностабільний пневматичним керуванням     |                  | Перемикання двох каналів «тиск /скидання» | 1 – живлення ; 2, 4 – виходи;<br>3, 5 – скидання;<br>12 – прямий сигнал керування.                                  |
| 5 | Розподільчий клапан 4/2 (5/2) моностабільний електромагнітним керуванням |                  | Перемикання двох каналів «тиск /скидання» | 1 – живлення ; 2, 4 – виходи;<br>3, 5 – скидання;<br>12 – прямий сигнал керування.                                  |
| 6 | Розподільчий клапан 4/2 (5/2) моностабільний ручним керуванням           |                  | Перемикання двох каналів «тиск /скидання» | 1 – живлення ;<br>2, 4 – виходи;<br>3, 5 – скидання.  |
| 7 | Розподільчий клапан 4/2 (5/2) моностабільний механічним керуванням       |                  | Перемикання двох каналів «тиск /скидання» | 1 – живлення ;<br>2, 4 – виходи ;<br>3, 5 – скидання;<br>12 – прямий сигнал керування.                              |

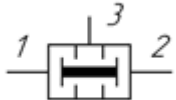
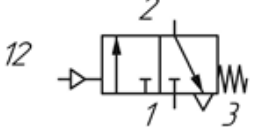
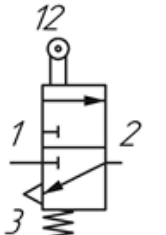
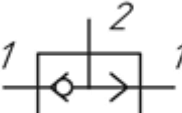
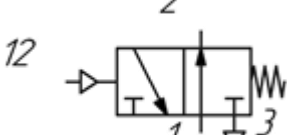
## Пневматичні пристрої рівня контролю

Таблиця 1.1.3

| № | Назва пристрою  | Умове позначення  | Виконувана функція  | Лінії з'єднань примітки   |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Розподільчий клапан 3/2 моностабільний механічним керуванням (кінцевик) |  | Формування сигналу щодо отримання контрольованого положення                   | 1 – живлення ;<br>2 – вихід ;<br>3 – скидання;<br>12 – прямий сигнал керування. |
| 2 | Реле тиску нормально зачинене   |  | Формування сигналу щодо отримання тиску в лінії або отримання зусилля приводу | 1 – живлення ;<br>2 – вихід;<br>3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.     |

## Пневматичні пристрої логіко-обчислювального рівня

Таблиця 1.1.4

| № | Назва пристрою   | Умове позначення  | Виконувана функція  | Лінії з'єднань примітки   |
|---|--|---|---|---|
| 1 | Клапан логічного множення  |  | Формування сигналу виходу рівного логічному добутку 2-х сигналів входу                    | 1, 2 – вхідні сигнали;<br>3 – вихідний сигнал.                                |
| 2 | Клапан 3/2 моностабільний, нормально зачинений                       |  | Формування сигналу виходу рівного логічному добутку 2-х сигналів (входу і живлення)       | 1 – вхід;<br>2 – вихід;<br>3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування.        |
| 3 | Клапан 3/2 моностабільний механічним керуванням, нормально зачинений |  | Формування сигналу виходу рівного логічному добутку 2-х сигналів (механічного і живлення) | 1 – вхід;<br>2 – вихід;<br>3 – скидання;<br>12 – прямий сигнал керування.     |
| 4 | Клапан логічного додавання   |  | Формування сигналу виходу рівного логічному додаванню 2-х сигналів входу                  | 1, 2 – входи;<br>2 – вихід.   |
| 5 | Клапан 3/2 моностабільний, нормально відчинений (інвертор)           |  | Формування сигналу виходу рівного логічній інверсії вхідного сигналу                      | 1 – вхід; 2 – інверсний вихід;<br>3 – скидання; 12 – прямий сигнал керування. |

Засоби гідроавтоматики і гідроприводу мають багато спільного з промисловою пневмоавтоматикою, але мають і суттєві відмінності, такі самі, як відмінності властивостей рідини і газу [51-53, 56-60, 64-68].

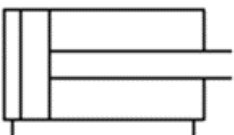
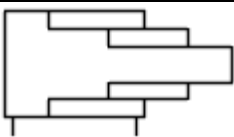
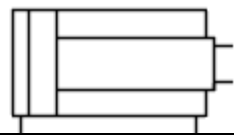

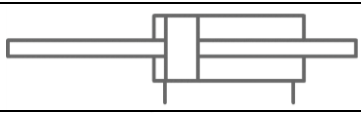

Багато пристроїв пневмоприводу і гідроприводу мають однакові умовні позначення, і їх відрізнити можна за зафарбованим (рідина) чи не зафарбованим трикутником та умовними позначеннями баку, гідроаккумулятора і ресивера. До спільних умовних позначень належать циліндри лінійного та обертового переміщення, повно поворотні мотори, розподільчі клапани, деякі клапани тиску, клапан логічного «АБО», зворотній клапан, дроселі та ще деякі пристрої [\*\*\*]. Це дозволяє зосередитись на специфічному обладнанні гідроприводу, посилаючись на таблицю 1.1.5 за спільними умовними позначеннями.

*Примітка. Якщо дві системи – гідравлічна та пневматична, складено по майже однаковим принциповим і монтажним схемам, то вони не тільки можуть відрізнятись в роботі, але взагалі гідравлічна система може бути непрацездатною при працюючій пневматичній системі.*


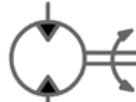


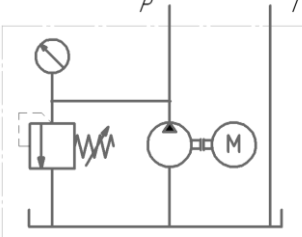

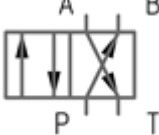
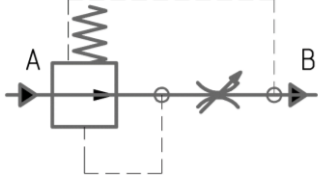
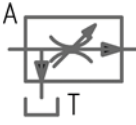
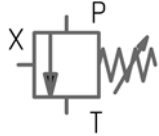
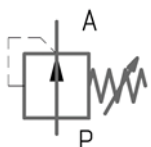
*Властивості малих змін густини при зміні тиску і температури, а також відмінності в показнику в'язкості для рідин і газів є першопричинами відміченого. Саме цими відмінностями викликано існування суттєво різних пристроїв при майже однакових функціях, наприклад, гідроаккумулятор і ресивер.*

#### Гідравлічні пристрої виконавчого рівня

**Таблиця 1.1.5**

| №                 | Назва пристрою                                   | Умовне позначення   | Виконувана функція   | Лінії з'єднань примітки |
|-------------------|--|---|--|-------------------------|
| <b>Традиційні</b> |  |   |  |                         |
| <b>1</b>          | Гідроциліндр одноштоковий двосторонньої дії      |  | Поступове переміщення під навантаженням в двох напрямках   |                         |
| <b>2</b>          | Гідроциліндр телескопічний                       |  | Поступове переміщення під навантаженням в двох напрямках   |                         |
| <b>3</b>          | Гідроциліндр диференціальний                     |  | Поступове переміщення з однаковою швидкістю під навантаженням в двох напрямках                     |                         |
| <b>4</b>          | Гідроциліндр плунжерний                          |  | Поступове переміщення під навантаженням в одному напрямку і без навантаження в зворотному напрямку |                         |
| <b>5</b>          | Гідроциліндр двосторонньої двоштоковий дії       |  | Поступове переміщення під навантаженням в двох напрямках з однаковою швидкістю                     |                         |
| <b>6</b>          | Гідроциліндр неповноповоротний двосторонньої дії |  | Обертовий рух під навантаженням в двох напрямках на кут, менший за 360°                            |                         |

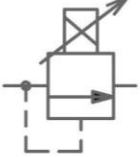
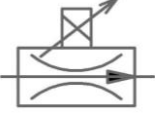




## Продовження таблиці 1.1.5

|    |   |   |  |   |
|----|---|---|--|---|
| 7  | Неповноповоротний гідроциліндр двосторонньої дії        |    | Обертотий рух під навантаженням в двох напрямках на кут, менший за 180°                  |   |
| 8  | Гідромотор реверсивний                                  |    | Обертотий рух під навантаженням в двох напрямках на кут, більший за 360°                 |   |
| 9  | Насос гідрравлічний нерегульований                      |    | Джерело гідрравлічної енергії нерегульованої витрати                                     |   |
|    | Насос гідрравлічний регульований                        |    | Джерело гідрравлічної енергії регульованої витрати                                       |   |
| 10 | Насосна станція   |   | Джерело гідрравлічної енергії нерегульованої витрати з регулюванням тиску                | p – тиск;<br>T – злив.                          |
| 11 | Мультиплікатор тиску                                    |  | Підвищення рівня тиску   |   |
| 12 | Розподільчий клапан 4/2 без зазначення типу керування   |  | Перемикання двох каналів «тиск /злив»  | p – тиск;<br>A, B – виходи; T – злив.           |
| 13 | Регулятор потоку (2-х лінійний, розгорнуте позначення ) |  | Підтримка стабільного рівня витрати при змінному навантаженні, дискретна зміна швидкості | A – вхід; B – вихід.                            |
| 14 | Регулятор потоку (3-х лінійний, спрощене позначення)    |  | Підтримка стабільного рівня витрати при змінному навантаженні, дискретна зміна швидкості | A – вхід;<br>B – вихід;<br>T – злив.            |
| 15 | Клапан тиску (зовнішній керування )                     |  | Вмикання/вимикання контролю зусилля  | P – вхід;<br>T – злив;<br>X – сигнал керування. |
| 16 | Клапан редукційний (2-во ходовий)                       |  | Вмикання/вимикання другого рівня тиску, зусилля  | P – вхід;<br>A – вихід.                         |

## Продовження таблиці 1.1.5

|    |   |  |   |   |
|----|---|--|---|---|
| 17 | Клапан редукційний (3-х ходовий)  |  | Вмикання/вимикання другого рівня зусилля  | P – вхід;<br>A – вихід;<br>T – злив.              |
| 18 | Дросель з зворотним клапаном  |  | Вмикання/вимикання іншого швидкості   | 1→2 – дроселювання потоку;<br>2→1 – обхід дроселя |
| 19 | Розподільчий клапан 2/2 (3/2) з механічним керуванням (кінцевик)                  |  | Вмикання/вимикання контролю положення   | p – живлення; A – вихід, (сигнал);<br>T – злив.   |
| 20 | Розподільчий клапан 4/3 з ручним керуванням та фіксацією позиції                  |  | Перемикання двох каналів «тиск/злив» з блокуванням мотора та розвантаженням насоса в середньому положенні | p – живлення; A, B – вихід;<br>T – злив.          |
| 21 | Розподільчий клапан 4/2 з ручним керуванням моностабільний                        |  | Перемикання двох каналів «тиск /злив»   | p – живлення; A, B – вихід;<br>T – злив.          |
| 22 | Розподільчий клапан 4/2 з електромагнітним керуванням моностабільний              |  | Перемикання двох каналів «тиск /злив»   | p – живлення; A, B – вихід;<br>T – злив.          |
| 23 | Розподільчий клапан 4/2 з електромагнітним керуванням бістабільний                |  | Перемикання двох каналів «тиск /злив»   | p – живлення; A, B – вихід;<br>T – злив.          |
| 24 | Розподільчий клапан 4/3 з електромагнітним пропорційним керуванням моностабільний |  | Перемикання двох каналів «тиск /злив» з регулюванням ступеню відкриття                                    | p – живлення; A, B – вихід;<br>T – злив.          |

**Продовження таблиці 1.1.5**


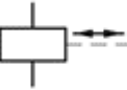
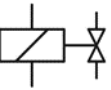
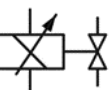
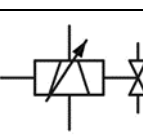



|           |   |  |  |  |
|-----------|---|--|--|--|
| <b>25</b> | Клапан тиску з пропорційним керуванням      |   | Забезпечення рівня тиску або зусилля з регулюванням його значення<br>Вмикання/вимикання іншого рівня тиску |  |
| <b>26</b> | Регулятор витрати з пропорційним керуванням |   | Забезпечення рівня швидкості з регулюванням її значення<br>Вмикання/вимикання іншого рівня швидкості       |  |
| <b>27</b> | Дросель лінійний регульований               |   | Налаштування швидкості<br>Дискретна зміна рівня швидкості  |  |
| <b>28</b> | Фільтр                                      |   | Забезпечення рівня очищення рідини   |  |
| <b>29</b> | Апарат теплообміну                          |   | Обмеження верхнього/нижнього значення температури  |  |
| <b>30</b> | Витратомір                                  |  | Визначення рівня витрати   |  |

## 1.2 ЕЛЕКТРОРЕЛЕЙНІ ТА ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ МОДУЛІВ






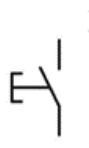
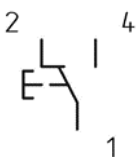


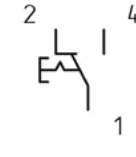
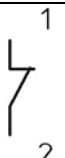

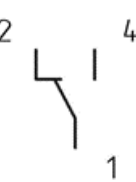
Електричні і електронні засоби, які можуть застосовуватись в якості пристроїв при побудові модулів, відносяться до виконавчих пристроїв, засобів керування та контролю [12,13,15,53,59,61,62]. Особливістю цих компонентів є те, що у складі мехатронних модулів вони взаємодіють з механічними, пневматичними, гідравлічними і спеціальними технологічними пристроями. Наприклад, соленоїд може бути виконавчим пристроєм з важільним механізмом (екстрактор), може виконувати функцію керування пневматичного або гідравлічного клапана. Ємнісний датчик може виконувати функцію виконавчого пристрою, при його використанні для пошуку позиції аварійного відвантаження. Тому, багато пристроїв, з наведених нижче, неможна однозначно віднести до функцій керування, виконання або контролю.

Деякі електричні і електронні компоненти

Таблиця 1.2.1.

| №   | Назва пристрою                                      | Умове позначення  | Функція  | Примітка  |
|---|---|---|--|---|
| <b>Елементи електрорелейних схем</b>      |   |   |  |   |
| <b>Виконавчі елементи і сигналізатори</b> |   |   |  |   |
|   | Контактне реле                                      |   | Замикання/розмикання контактів при наявності живлення в контурі керування; підсилення потужності сигналів датчиків | A1 – підключення контуру керування/живлення; A2 – підключення до лінії 0V |
|   | Соленоїд  |  | Лінійне переміщення об'єктів   |   |
|   | Соленоїд розподільчого клапана                      |  | Перемикання позиції розподільчого клапана  |   |
|   | Соленоїд пропорційного клапана (односторонньої дії) |  | Переміщення золотника пропорційного розподільника на величину пропорційну сигналу керування                        | Сигнал керування в межах (0...+10)V                                       |
|   | Соленої пропорційного клапана (двосторонньої дії)   |  | Переміщення золотника пропорційного розподільника на величину пропорційну сигналу керування                        | Сигнал керування в межах (-10...+10)V                                     |
|   | Мотор постійного струму                             |  | Обертний рух під навантаженням в двох напрямках  |   |
|   | Мотор змінного струму однофазний                    |  | Обертний рух під навантаженням в двох напрямках  |   |
|   | Мотор змінного струму трьохфазний                   |  | Обертний рух під навантаженням в двох напрямках  |   |

Продовження таблиці 1.2.1

|                                 |                                |   |   |   |   |
|---------------------------------|--------------------------------|---|---|---|---|
| Індикаторна лампочка            |                                |    |   | Світлова індикація наявності сигналу/живлення в контурі керування                             |   |
| Зумер                           |                                |    |   | Звукова індикація наявності сигналу/живлення в контурі керування                              |   |
| Контакти                        |                                |   |   |   |   |
| Клеми ліній живлення            |                                | <div>+24V<br/></div> <div>0V<br/></div> |   | Підключення до джерела живлення   |   |
| Кнопка електрична без фіксатора |                                |   |   | Ручне перемикання стану електричних контактів в контурі керування                             | 1, 3 – підключення до лінії 24V;<br>2, 4 – виходи з нормально замкнутого і розімкненого контактів, відповідно |
| Нормально замкнений контакт     | нормально розімкнений контакт; |    |    |   |   |
| перемикач                       |                                |   |   |   |   |
| Кнопка електрична з фіксатором  |                                |   |   | Ручне перемикання стану електричних контактів в контурі керування                             | 1, 3 – підключення до лінії 24V;<br>2, 4 – виходи з нормально замкнутого і розімкненого контактів, відповідно |
| Нормально замкнений контакт     | нормально розімкнений контакт; |    |  |   |   |
| перемикач                       |                                |    |   |   |   |
| Контакт реле:                   |                                |   |   | Перемикання стану електричних контактів в контурі керування за допомогою електричних сигналів | 1, 3 – підключення до лінії 24V;<br>2, 4 – виходи з нормально замкнутого і розімкненого контактів, відповідно |
| Нормально замкнений контакт     | нормально розімкнений контакт; |    |  |   |   |
| перемикач                       |                                |    |   |   |   |



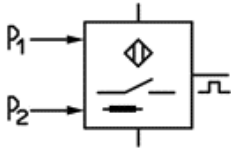

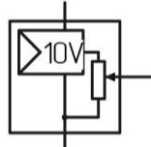
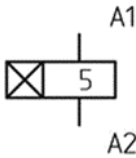
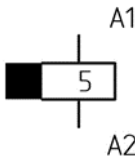
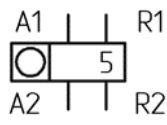


Продовження таблиці 1.2.1

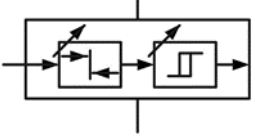
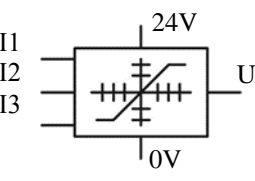

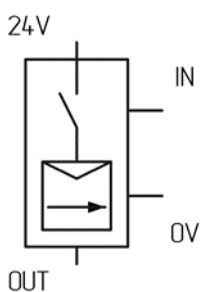
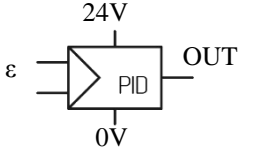



|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| Контакт реле часу (затримка часу по передньому фронту): нормально замкнений і розімкнений контакти                       |  | Затримка появи електричного сигналу/команди керування: замикання/розмикання контакту в контурі керування з затримкою в часі   | 1, 3 – підключення до лінії 24V; 2, 4 – виходи з нормально замкненого і розімкненого контактів, відповідно |
| Контакт реле часу (затримка часу по задньому фронту): нормально замкнений і розімкнений контакти                         |  | Затримка зникнення електричного сигналу/команди керування: замикання/розмикання контакту в контурі керування з затримкою в часі   | 1, 3 – підключення до лінії 24V; 2, 4 – виходи з нормально замкненого і розімкненого контактів, відповідно |
| Контакт електричних датчиків (смісного, індуктивного, оптичного, реле тиску): нормально замкнений і розімкнений контакти |  | Зняття/подача сигналу в контурі керування при появі сигналу на безконтактному датчику контролю позиції виконавчого пристрою; контроль наявності об'єкту на позиції; контроль значення тиску в порожнині/лінії | 1, 3 – підключення до лінії 24V; 2, 4 – виходи з нормально замкненого і розімкненого контактів, відповідно |
| Контакт кінцевого вимикача: нормально замкнений і розімкнений контакти   |  | Розмикання/ замкнення контуру керування при наявності механічного дії на вимикач: контроль крайніх/проміжних положень виконавчого пристрою або наявності об'єкту на позиції                                   | 1, 3 – підключення до лінії 24V; 2, 4 – виходи з нормально замкненого і розімкненого контактів, відповідно |

Продовження таблиці 1.2.1

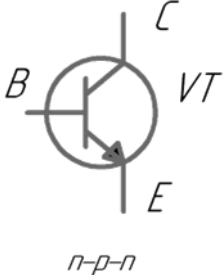
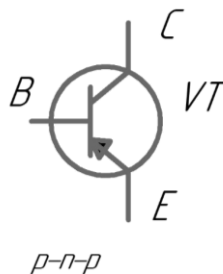
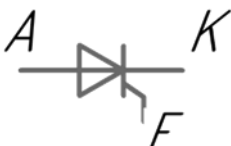
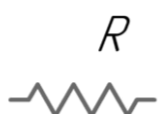




| Датчики електричні            |  |   |  |
|-------------------------------|--|---|--|
| Кінцевий механічний вимикач   |  | Контроль крайніх/проміжних положень виконавчого пристрою або наявності об'єкту на позиції |  |
| Датчик/сенсор індуктивний     |  | Контроль наявності металевих об'єктів в зоні чутливості датчика                           |  |
| Датчик/сенсор ємнісний        |  | Контроль наявності об'єктів в зоні чутливості датчика                                     |  |
| Датчик/сенсор оптичний        |  | Контроль наявності непрозорих об'єктів в зоні чутливості датчика                          |  |
| Датчик/сенсор магнітного поля |  | Контроль наявності магнітного поля в зоні чутливості датчика                              |  |

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| Датчик температури/температурне реле  |    | Контроль рівня температури об'єктів  |  |
| Реле тиску (позначення для електропневматичних та електрогідравлічних схем) |    | Контроль значення тиску в порожнині/лінії  | $P$ – підключення до гідравлічної/пневматичної лінії   |
| Реле різниці тисків   |    | Контроль значення різниці тисків в порожнинах/лініях або на апараті  | $p_1$ , $p_2$ – канали для підключення тисків, які порівнюються  |
| Геркон – герметичний контакт (безконтактний датчик)                         |    | Контроль наявності магнітного поля в зоні чутливості датчика   |  |
| Датчик потенціометричний  |    | Перетворення координати переміщення/ходу виконавчого пристрою в електричний сигнал, пропорційний переміщенню   |  |
| <b>Елементи керування і перетворення сигналів</b>                           |   |  |  |
| Реле часу (затримка по передньому фронту)                                   |  | Затримка появи сигналу на виході реле при появі сигналу/команди в контурі керування  | A1 – підключення сигналів/команди керування, поява яких затримується;<br>A2 – підключення до лінії 0V                                      |
| Реле часу (затримка вимикання)  |  | Затримка зникнення сигналу на виході реле при зникненні сигналу/команди в контурі керування  | A1 – підключення сигналів/команди керування, зникнення яких затримується;<br>A2 – підключення до лінії 0V                                  |
| Лічильник   |  | Контроль кількості імпульсів на вході в лічильник; поява сигналу на виході лічильника при досягненні попередньої встановленої кількості; скидання поточного значення підрахованих сигналів і зняття сигналу на виході лічильника | A1 – вхід лічильника;<br>A2 – підключення до лінії 0V;<br>R1 – сигнал/команда скидання поточного значення;<br>R2 – підключення до лінії 0V |


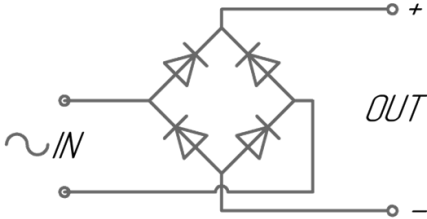



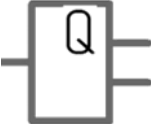
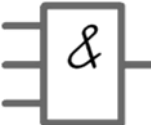

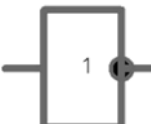
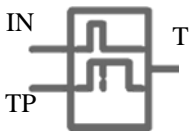
Продовження таблиці 1.2.1

|                                    |  |   |  |   |
|------------------------------------|--|---|--|---|
|                                    | Компаратор                                       |    | Порівняння рівня сигналу на вході із попередньо встановленим значенням на пристрої             |   |
|                                    | Задатчик рівня сигналу                           |    | Генерація рівня вихідного сигналу по комбінації вхідних сигналів                               | I1, I2, I3 – вхідні сигнали;<br>U – вихідний сигнал                                       |
|                                    | Підсилювач                                       |    | Керування соленоїдом пропорційного клапана по сигналу від задатчика                            |   |
|                                    | Пристрій плавного пуску мотора постійного струму |    | Задача швидкості зростання напруги до максимального значення на моторі                         | IN – сигнал/команда керування ввімкненням мотору;<br>OUT – канал підключення клеми мотору |
|                                    | ПІД-регулятор                                    |  | Формування вихідного сигналу певного рівня в перехідних процесах за значенням похибки на вході | ε – похибка;<br>OUT – вихідний сигнал   |
| <b>Компоненти електронних схем</b> |  |   |  |   |
|                                    | Джерело змінного струму                          |  | Живлення схем, які працюють при змінному струмі  |   |
|                                    | Джерело постійного струму                        |  | Живлення схем, які працюють на постійному струмі   |   |
|                                    | Заземлення                                       |  |  |   |

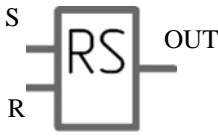

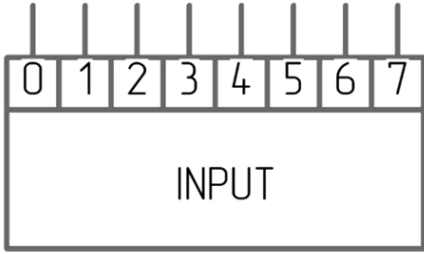
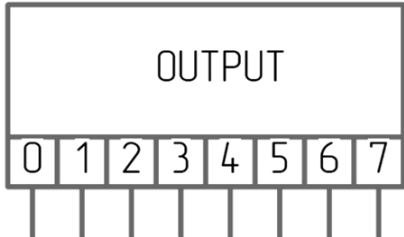
Продовження таблиці 1.2.1

|                  |   |   |  |
|------------------|---|---|--|
| Транзистор (NPN) |    | Підсилення і генерація електроколивань (пряма провідність)    | В – база; С – колектор; Е – емітер         |
| Транзистор (PNP) |    | Підсилення і генерація електроколивань (зворотна провідність) | В – база; С – колектор; Е – емітер         |
| Тиристор         |   | Замикання/розмикання електричного контура                     | А – анод; К – катод; Е – керуючий електрод |
| Резистор         |  | Лінійне перетворення струму в напругу/напруги в струм         |  |
| Індуктивність    |  | Електрична інерція/обмеження змінного струму/гасіння шумів    |  |
| Ємність          |  | Накопичення електричного заряду                               |  |
| Діод             |  | Обмеження напрямку струму                                     |  |
| Стабілітрон      |  | Обмеження рівня вихідної напруги                              |  |

Продовження таблиці 1.2.1

|                             |  |   |   |  |
|-----------------------------|--|---|---|--|
|                             | Світлодіод                                     |    | Світлова індикація  |  |
|                             | Діодний міст                                   |    | Перетворення змінного струму в постійний  | IN – підключення контуру змінного струму;<br>OUT – підключення контуру постійного струму |
| Елементи електронної логіки |  |   |   |  |
|                             | Високий рівень вхідного сигналу ("1", "TRUE")  |    | Встановлення високого рівня сигналу на вході (за замовчуванням)                 |  |
|                             | Низький рівень вхідного сигналу ("0", "FALSE") |   | Встановлення низького рівня сигналу на вході (за замовчуванням)                 |  |
|                             | Вхідний сигнал                                 |  | Опитування значення сигналу на вході  |  |
|                             | Вихідний сигнал                                |  | Встановлення значення вихідного сигналу   |  |
|                             | Елемент кон'юнкції (логічне множення, "І")     |  | Логічне множення вхідних сигналів   |  |
|                             | Елемент диз'юнкції (логічне додавання, "АБО")  |  | Логічне додавання вхідних сигналів  |  |
|                             | Елемент інверсії ("НЕ")                        |  | Перетворення значення вхідного бінарного сигналу на протилежне вихідне значення |  |
|                             | Таймер (затримка часу по задньому фронту)      |  | Затримка зникнення сигналу на виході при зникненні вхідного сигналу             | IN – вхідний сигнал;<br>TP – преселектор;<br>T – вихід                                   |

Продовження таблиці 1.2.1

|                     |  |  |   |
|---------------------|--|--|---|
| Тригер              |   | Фіксація вихідного значення сигналу відповідно до стану вхідних сигналів | S – встановлення значення "1" на виході (OUT);<br>R – встановлення значення "0" |
| Генератор імпульсів |   | Генерація сигналу певної форми і частоти                                 |   |
| Входи в контролер   |   | Зовнішнє підключення вхідних сигналів до контролера                      | 0...7 – номер вхідного біту   |
| Виходи контролера   |  | Зовнішнє підключення контролеру до виконавчих пристроїв                  | 0...7 – номер вихідного біту  |

Умовні позначення елементів пневматичних, гідравлічних і електричних схем можуть змінюватись в залежності від типу схем та стандартів, які ці позначення регламентують. Також, при використанні спеціалізованих програмних пакетів для побудови схем, імітації їх роботи і визначення характеристик розробники можуть керуватися різними стандартами, наприклад:

DIN ISO 1219-1. Graphic symbols for pneumatic and hydraulic equipment

BS 2917 (ISO 1219). GRAPHICAL SYMBOLS FOR PNEUMATIC SYSTEMS AND COMPONENTS

ГОСТ 2.781-96. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические. Аппараты гидравлические и пневматические, устройства управления и приборы контрольно-измерительные

ГОСТ 2.782-96. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические. Машины гидравлические и пневматические

ГОСТ 17752-81. Гидропривод объемный и пневмопривод. Термины и определения

ДСТУ ГОСТ 2.704:2014. Єдина система конструкторської документації. Правила виконання гідравлічних і пневматичних схем (ГОСТ 2.704-2011, IDT)

ДСТУ ГОСТ 2.702:2013 Єдина система конструкторської документації. правила виконання електричних схем (ГОСТ 2.702-2011, IDT)

I EC 60617-DB-12M:2012. Graphical symbols for diagrams (IDT)

## 2. АЛГОРИТМІЧНІ КОМПОНЕНТИ ЦИКЛІЧНИХ МОДУЛІВ

З метою формування зручної бази елементів для структурного синтезу систем мехатроніки виконано уніфікацію представлення декотрих інформаційних компонентів по аналогії з механічними компонентами. За типову форму елемента прийнято циклічний модуль (рис. 2.1) [4,6,9].



Рисунок 2.1. Схема уніфікованого циклічного модуля мехатронної системи

Модулі системи інколи мають повністю інформаційний зміст і реалізацію (елемент пам'яті, таймер, лічильник, підпрограма), а інколи поєднують інформаційні та апаратні засоби (багатопозиційні приводи з бістабільним керуванням, пристрої з пропорційним керуванням).

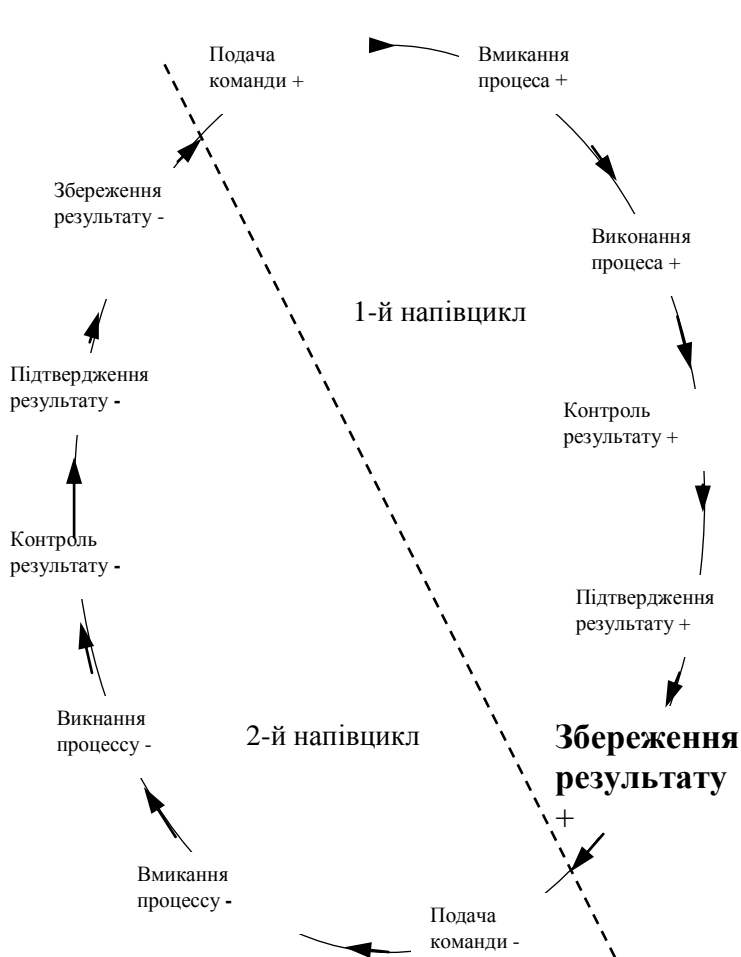


Рисунок 2.2. Алгоритм функціонування уніфікованого циклічного модуля

За правило алгоритми керування та їх фрагменти відносяться до інформаційних компонентів. Але їх входження в склад мехатронних систем додає певні обмеження і накладає специфічні вимоги щодо їх застосування у спільному з механікою просторі [7].

Всі модулі системи згідно з логічними умовами виконують основні  $YI$  і зворотні  $YNI$  функції, та контролюють їх результат: основний -  $XI$  і зворотній -  $XNI$ . Уніфікація всіх елементів системи дозволяє уніфікувати процес з'єднання цих елементів в систему. Уніфікація процесу призводить до уніфікації структури системи, що дозволяє виконувати тестування систем за рядом формальних ознак, що стосуються або елементів, або їх з'єднань. Саме з цих причин ряд

інформаційних та алгоритмічних компонентів зручно будувати у формі, типовій для механічних модулів. При цьому основна та зворотна функції всіх модулів зберігають свою фізичну природу. Наприклад, гідродинамічні процеси в елементах гідроприводу, тепло-масообмін в пневмоприводі, електромагнітні перетворення в електроприводі, чисельні методи, інтегральні та диференціальні функції в інформаційному компоненті. Перелічені процеси та функції мають бути розподілені між виконанням або основної, або зворотної дії модулів і додаються до структури модуля у якості окремих елементів (умов, виконання, контролю).

Алгоритм дії уніфікованого циклічного модуля має вигляд замкненого циклу (рис. 2.2.) [6,7,32,33]. В загальному випадку алгоритми механічних модулів ідентичні за структурою і утворюють цикл з команд, дій та операцій контролю результатів [7]. Таку саму форму матимуть простіші інформаційні модулі. Перший полу цикл вміщує наступну послідовність: • подача команди на виконання основної функції; • сприйняття команди; • відпрацювання функції – основна дія модуля; • поточний контроль результату дії; • формування сигналу щодо завершення дії для інших модулів системи; • збереження результату до початку наступного напівциклу.

Другий напівциклу відповідає підготовці до повторного виконання основної функції модуля, тобто для інформаційних та алгоритмічних компонентів може бути названим як підготовчий. Наприклад, це може бути завдання початкових значень для масиву даних, визначення початкових значень змінних, перерахунок поточних даних в іншу систему координат. В залежності від типу та функції модуля уточнюватиметься зміст кожного переходу в циклі, але черговість цих переходів є фізично і інформаційно необхідною і для механічного, і для алгоритмічного модулів. Деякі переходи циклу можуть фактично бути відсутніми, але змістовно виконані. Наприклад, розрахунковий процес може не мати спеціальної функції на збереження результату, проте фактично результат буде збережено до наступного звернення до цієї функції.

Впорядкованість переходів циклу зумовлена причинно-наслідковими зв'язками інформаційних та фізичних процесів. Наприклад, для привода поступального руху задано наступну програму дій: переміщення порожнього контейнера під завантаження – координата 100, повернення заповненого контейнера під вивантаження – координата 5000. Фактично, у відповідності з циклом (рис. 2.2.), цьому відповідає: перевірка умов заповненого або порожнього контейнера, формування за цими умовами сигналів команд, підведення сигналів команд до керуючих пристроїв (КП), контроль переміщення вихідної ланки привода в координату завантаження (100), або координату вивантаження (5000), відміна команд на переміщення привода (табл. 2.1). Інформаційним аналогом однокоординатного привода з максимальним ходом 10000, може бути дійсна змінна «Z1», визначена на відрізок (0, 10000).

Наприклад, в розрахунковому алгоритмі за умов істинності умови «IF <УМОВА 1>» поточне значенні змінної «Z1=100» має змінитися на наступне



значення, а саме «Z1=5000» (шляхом відпрацювання функції присвоювання значення Z1=5000). Такий перехід від одного значення до іншого не передбачає існування проміжних значень змінної Z1. Також відсутні будь які попереджуючі операції, що передують функції присвоювання нового значення. Після перепризначення змінної вона зберігає нове значення без застосування якихось функцій щодо запобігання «впливу збуджуючих факторів», здатних змінити значення змінної. Тобто в інформаційному алгоритмі відсутні зовнішні фактори, на кшталт зовнішнього чи інерційного навантаження чи теплового розширення рідини, здатні до пересування вихідної ланки приводу.

В алгоритмі функціонування механічної системи значенню змінної Z1 відповідає координата положення вихідної ланки гідравлічного циліндра. За командою на зміну значення «Z1», програма вимагатиме пересунути шток циліндра в положення 5000. Для цього необхідно визначити поточне положення, наприклад, 100 (після завантаження контейнера). Якщо це так, то необхідна команда на висування штоку. Але при вихідній координаті 8000 для розв'язку тієї самої задачі необхідна протилежна за напрямом дії команда - на втягування штока. Якщо не позбутися попередньої за циклом команди, то одночасно в одному керуючому пристрої зіштовхнуться два протилежно спрямовані сигнали керування: а) зменшення координати, б) збільшення координати. Перший має підтримувати значення координати 100, а другий – на зміну значення координати позиціонування на 5000. Таким чином, в алгоритмі мехатронної системи до звичайної інформаційної команди на зміну значення «Z1» необхідно додати всі інші логічні переходи циклічного модуля (табл. 2.1, рядки 1.1, 2.1):

- контроль завершення попереднього напівциклу використання змінної;
- відмова від попередньої команди на зміну значення та його подальшого збереження.

Тобто, один крок інформаційного алгоритму охоплює перший напівцикл дії механізму, що змінює координату «Z1», а значення «Z1» стрибком змінюється з «будь-якого» на «будь-яке», наприклад, від 100 до 5000 або від 6888 до 5000 (табл. 2.1., рядки 1.1 – 1.5).

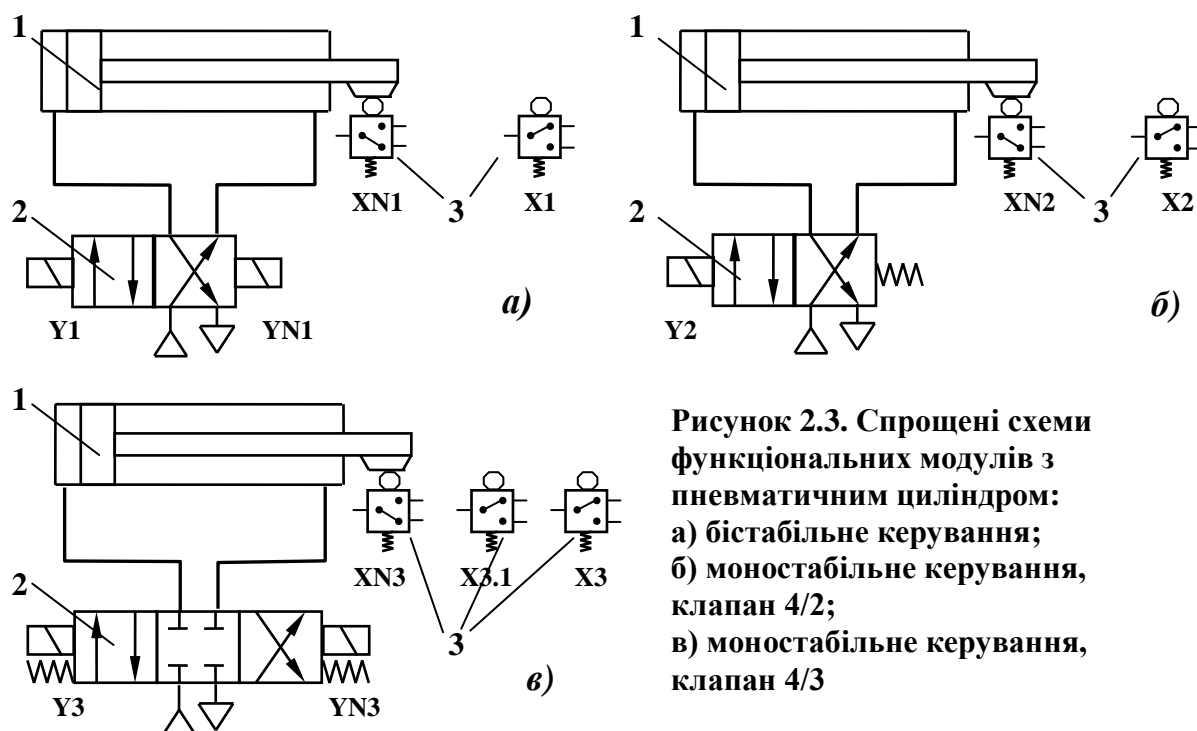
**Приклад алгоритму функціонального модуля**

**Таблиця 2.1.**

| №   | Алгоритм програми                                   | Алгоритм функціонування гідроприводу   |                                     |                                     |   |
|-----|---|--|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
|     | Зміст   | Зміст  | Потужність                          | Час                                 | Коментарі   |
|     | Перший напівцикл : зміна Z1 від 100 до 5000         |  |                                     |                                     |   |
| 1_1 | Зміна значення за набуття істинності умовою 1<br>IF | Вироблення та припинення сигналів керування за умовою 1 в початковому положенні привода<br>IF I0.0 AND I1.0<br>THEN SET A0.1<br>RESET A0.0 | 0,01*п Вт<br>10,0*п Вт<br>10,0*п Вт | 0,001*п с<br>0,001*п с<br>0,001*п с | Вихід A0.1 – висування штока<br>Вихід A0.0 - втягування штока |

|     |  |   |                                     |                                     |  |
|-----|--|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| 1_2 | УМОВА<br>1=1<br>AND<br>УМОВА   | Перемикання<br>клапану,<br>постачання рідини<br>під тиском до<br>приводу  | 10,0*n Вт                           | 0,01*n с<br>0,1*n с                 |  |
| 1_3 | 2=0<br>THEN<br>Z1=5000   | Пересування вихідної<br>ланки привода   | 1,0*n кВт                           | 1,0*n с<br>...<br>10,0*n с          | Поступове<br>збільшення<br>координати від 100<br>до 5000                       |
| 1_4 |  | Опитування датчика<br>кінцевого положення<br>привода І0.1   | 0,01*n Вт                           | 0,001*n с                           |  |
| 1_5 |  | Перехід клапана в<br>нейтральне<br>положення за<br>сигналом датчика,<br>Зупинка руху<br>привода<br>IF І0.1<br>THEN RESET А0.1                     | 10,0*n Вт<br>1,0*n кВт              | 0,01*n с<br>...<br>0,05*n с         | Відміна сигналу<br>команди на<br>висування по<br>досягненні<br>координати 5000 |
|     | Другий напівцикл : зміна Z1 від 5000 до 100                                      |   |                                     |                                     |  |
| 2_1 | Зміна<br>значення за<br>набуття<br>істинності<br>умовою 2<br>IF<br>УМОВА-<br>2=1 | Вироблення та<br>припинення сигналів<br>керування за умовою<br>2 в кінцевій позиції<br>приводу<br>IF І0.1 AND І1.1<br>THEN SET А0.0<br>RESET А0.1 | 0,01*n Вт<br>10,0*n Вт<br>10,0*n Вт | 0,001*n с<br>0,001*n с<br>0,001*n с | Вихід А0.1 –<br>висування штока<br>Вихід А0.0 -<br>втягування штока            |
| 2_2 | AND<br>УМОВА-<br>1=0<br>THEN<br>Z1=100   | Перемикання<br>клапану,<br>постачання рідини<br>під тиском до<br>приводу  | 10,0*n Вт<br>1,0*n кВт              | 0,01*n с<br>0,1*n с                 |  |
| 2_3 |  | Пересування вихідної<br>ланки привода   | 1,0*n кВт                           | 1,0*n с<br>...<br>10,0*n с          | Поступове<br>зменшення<br>координати від 5000<br>до 100                        |
| 2_4 |  | Опитування датчика<br>кінцевого положення<br>привода І0.0   | 0,01*n Вт                           | 0,001*n с                           |  |
| 2_5 |  | Перехід клапана в<br>нейтральне<br>положення за<br>сигналом датчика,<br>Зупинка руху<br>привода IF І0.0<br>THEN RESET А0.0                        | 10,0*n Вт<br>1,0*n кВт              | 0,01*n с<br>...<br>0,05*n с         | Відміна сигналу<br>команди на<br>втягування по<br>досягненні<br>координати 100 |

| Третій напівцикл |          |            |  |  |                               |
|------------------|----------|------------|--|--|-------------------------------|
| 3_1              | GOTO 1_1 | JMP TO 1_1 |  |  | Перехід до першого напівциклу |



В «механічному» модулі після виконання першого переходу алгоритм функціонування переступає до другого кроку: сигнал команди перетворюється на енергетичний потік (табл. 2.1, рядок 1.2). Суттєво зростає потужність – від декількох Вт до кВт і виникає технологічна затримка часу на перемикання клапану [2,13,16,17,35,43,47].

Змістом наступного кроку є рух – тобто виконання основної задачі приводу. Сигнал керування перетворюється з суттєвим зростанням споживаної потужності і затримкою у часі на пересування контейнера (табл. 2.1, рядок 1.3). Паралельно відбувається контроль поточної координати, який додає свою затримку у часі, яку формують застосовані засоби контролю та передачі і

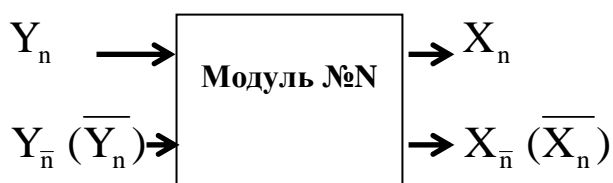


Рисунок 2.4. Спрощена схема модуля:  $Y_n$  – команда керування основної дії,  
 $\overline{Y_n}$  – команда керування зворотної дії,  
 $X_n$  – сигнал контролю основної дії,  
 $\overline{X_n}$  – сигнал контролю зворотної дії,  
 $n$  – номер модуля

сприйняття сигналу (табл. 2.1, рядок 1.4).

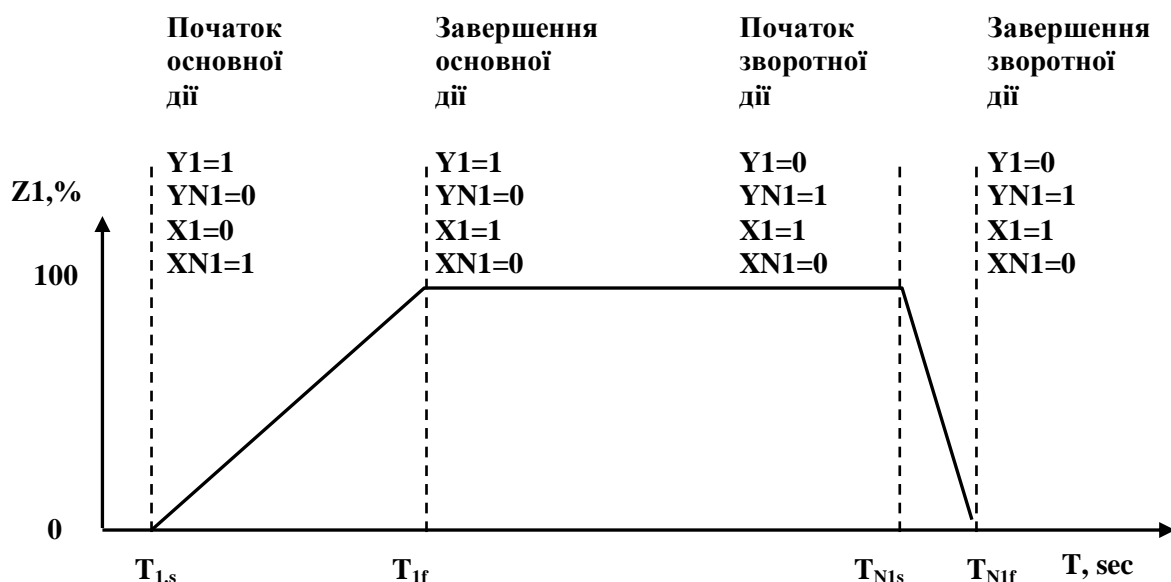
Сигнал від датчику кінцевого положення, який формується в позиції 5000 (крок 1.5), перетворює на «ІСТИННО» умову припинення руху і зафіксувати положення. Для цього спростовується команда на висування штоку (збільшення координати) і, у випадку моностабільного клапану 4/3 (рис.

2.3.) клапан займе нейтральне положення і рух буде припинено. Відбувається наступне перетворення сигналу: зменшення потужності з відповідною

технологічною затримкою у часі (спрацювання клапану + запирання порожнин циліндра + припинення руху).

Аналогічний вигляд має алгоритм дій модуля другого напівциклу (табл. 2.1, рядки 2.1-2.5). Після завершення другого напівциклу модуль повертається в початковий стан і є придатним до повторного використання.

Вилучення будь-якого переходу з циклу функціонування призведе до розриву причинно-наслідкових зв'язків послідовних перетворень і процес зупиниться. Наприклад, подача наступної команди на рух без зняття попередньої команди на отримання і утримання попередньої координати. Виникає змагання сигналів команд за керування і виконання фізично несумісних дій. Деякі обриви причинно-наслідкових зв'язків призведуть до руйнування обладнання, деякі викликають непередбачену зупинку системи.



**Рисунок 2.5. Структура циклу дії функціонального модуля:**  $Z1, \%$  - відносна ступінь відпрацювання функції,  $T_{1.s}$  - час надходження основної команди керування,  $T_{1f}$  - час отримання сигналу контролю виконання основної функції,  $T_{1N.s}$  - час надходження зворотної команди керування,  $T_{1Nf}$  - час отримання сигналу контролю виконання зворотної функції

Так само, як механічний модуль зміни координати, будуть побудовані алгоритмічні компоненти мехатронної системи у формі циклічного модуля (рис. 2.1). Циклограма дії уніфікованого модуля приймає вигляд (рис. 2.5). Відмінності у швидкодії фізичних і алгоритмічних модулів полягають у куті нахилу перехідних ланок. Їх протяжність складає десятки секунд для технологічних дій або приводів великих потужностей та рухомих мас, соті долі

```

IF <УМОВА ОСНОВНОЇ КОМАНДИ>
THEN
    RESET    YNn
    SET      Yn
IF <УМОВА ЗВОРОТНОЇ КОМАНДИ>
THEN
    RESET    Yn
    SET      YNn
    
```

**Рисунок 2.6. Шаблон програми для модуля з пневматичним (гідравлічним) циліндром та бістабільним керуванням клапану**

```

IF <УМОВА ОСНОВНОЇ КОМАНДИ>
THEN SET Yn
IF <УМОВА ЗВОРотної КОМАНДИ>
THEN RESET Yn

```

**Рисунок 2.7. Шаблон програми для модуля з пневматичним (гідравлічним) циліндром та моностабільним керуванням двопозиційного клапану**

секунди припадають на спрацювання клапанів, датчиків і сенсорів, сотиссячні долі секунди – інформаційні модулі.

Надані нижче шаблони алгоритму керування для типових виконавчих мехатронних пристроїв (привод + клапан + контролер + алгоритм) і алгоритмічних модулів

побудовані за циклічно-модульною структурою з використанням алгоритмічної мови STL [4,6,13,46].

Бістабільне керування пневматичним (гідравлічним) пристроєм: в явному вигляді присутні основна і зворотна команди і дії. За умов істинності логічного виразу основної команди необхідно увімкнути вихід контролера, під'єднаний до лівого магніту клапана (рис. 2.3.а) та вимкнути правий магніт, що керує сигналі зворотної команди пристрою (рис. 2.6). Після перемикаання клапана шток циліндра починає висуватися, сигнал XN1 приймає нульове значення, а на завершення руху сигнал X1 отримає одиничне значення, яке отримає відповідний вхід контролера. Для повернення штоку у початкове положення, за умов істинності логічного виразу зворотної команди, пристрій виконує зворотну дію: контролер вимикає вихід, під'єднаний до лівого магніту та вмикає вихід, під'єднаний до правого магніту (рис. 2.3.а, 2.6). Тиск потрапляє в праву порожнину і шток починає втягуватися. Сигнал X1 отримає нульове значення, а по завершенні руху з'явиться одиничне значення сигналу XN1.

Зауважимо, що для виконання кожної дії необхідно керування двома сигналами і двома магнітами клапану. Можливо здійснювати упереджуюче вимикання раніш відпрацьованого сигналу команди. Наприклад, якщо була подана команда на висування штока і сигнал X1 прийняв одиничне значення, то зберігати одиничне значення надалі не обов'язково, бо бістабільне керування забезпечено внутрішньою пам'яттю. Тоді, при відпрацюванні команди на втягування штоку вимикати команду на висування вже непотрібно.

Наданий шаблон (рис. 2.6) придатний для використання як для модулів механічної природи (привод, клапан, регулятор), та і для модулів інформаційної природи – апаратних - датчик, сенсор, компаратор, програмних - прапор, регістр, таймер, лічильник, функція, підпрограма.

Моностабільне керування (двопозиційний клапан): в явному вигляді присутня тільки основна команда. За умов істинності виразу основної команди, необхідно увімкнути вихід контролера, під'єднаний до магніту клапана Y2 (рис. 2.3.б, рис. 2.7). Після перемикаання клапана шток циліндра починає висовуватися. Після завершення руху контролюючий сигнал **X2** отримає одиничне значення. Для повернення штока, за умов істинності виразу зворотної команди, той самий вихід контролера необхідно вимкнути, пружина повертає клапан в початкове положення. Зауважимо, що будь-яке, навіть миттєве

переривання сигналу керування рівнозначне команді на повернення штоку у вихідне положення.

Моностабільне керування (трипозиційний клапан): присутні в явному вигляді і основна і зворотна команди. За умов істинності виразу основної команди, необхідно вмикати вихід контролера, під'єднаний до лівого магніту клапана Y3 (рис. 2.3.в). Подальше керування приводом залежить від варіанту використання середньої позиції клапана.

Якщо в середній (стабільній) позиції клапана порожнини ізолювані, то, після формування сигналу X3, сигнал основної команди є неприпустимим, адже рух має бути припинено. Аналогічно для зворотної команди, по досягненню початкового положення XN3, сигнал команди YN3 також є неприпустимим (рис. 2.8). Зауважимо, так само, як і для бістабільного клапану, при вмиканні виходу контролера основної команди необхідно вимикати вихід контролера зворотної команди, і навпаки.

Але при іншому варіанті використання позицій клапана розподілення команд також буде змінено. Наприклад, керування нереверсивним гідромотором, для якого основна дія означає обертовий рух, а зворотна дія

```

IF < УМОВА ОСНОВНОЇ КОМАНДИ > AND N Xn
THEN
    RESET YNn
    SET Yn
OTHRW
    RESET Yn
IF < УМОВА ЗВОРотної КОМАНДИ > AND N XNn
THEN
    RESET Yn
    SET YNn
OTHRW
    RESET YNn

```

Рисунок 2.8. Шаблон програми для модуля з моностабільним керуванням трипозиційним клапаном

```

IF < УМОВА ОСНОВНОЇ КОМАНДИ >
THEN
    RESET XNn
    SET Xn
IF < УМОВА ЗВОРотної КОМАНДИ >
THEN
    RESET Xn
    SET XNn

```

Рисунок 2.9. Шаблон програми для модуля елемента пам'яті з прямим і інверсним виходами

компонентів – прапор (елемент пам'яті), таймер, лічильник.

«Модуль» прапора або елемента пам'яті. Припустимо, що елемент пам'яті з прямим і інверсним виходами – це дві двійкові змінні, які мають певні імена і змінюють у протифазі свої значення з 0 на 1 і навпаки. В структурі (рис. 2.6) є чотири змінних  $Y_n$ ,  $Y_{\bar{n}}$ ,  $X_n$ ,  $X_{\bar{n}}$ , а в фрагменті алгоритму всього дві  $Y_n$  та  $Y_{Nn}$  (рис. 2.4, 2.5). В уніфікованому вигляді два перших ім'я – це виходи контролера – команди для виконавчого пристрою (клапана), два інших – виходи, які контролюють виконання дій і є похідними від сигналів датчиків. В структурі елемента пам'яті виконавчого пристрою немає. Тобто за командами керування необхідно вмикати безпосередньо засоби контролю виконання команд (за відсутності приводу). Тобто команди подавати немає куди, імена команд для прапора не потрібні, достатньо вмикати і вимикати аналоги

датчиків. Таким чином, якщо елемент пам'яті вмикаємо, то необхідно увімкнути «датчик»  $X_n$  і вимкнути «датчик» початкового стану  $X_{\bar{n}}$ , а при вимиканні елемента пам'яті вмикаємо  $X_{\bar{n}}$  та вимикаємо  $X_n$ . Зауважимо, що використання аналогії призводить до того, що  $X_n$  повторює стан елемента пам'яті: вмикаємо елемент пам'яті – вмикаємо датчик, вимикаємо елемент пам'яті – вимикаємо датчик. Об'єднаємо елемент пам'яті і його датчик кінцевого стану в одній змінній  $Xn$ . Це ім'я присвоїмо прапорю контролера. Для позначення датчика початкового стану (інверсний вихід) задіємо ще один прапор і присвоїмо ім'я  $XNn$ .

Результат: за командою вмикання алгоритмічного елемента пам'яті вмикаєм прапор  $Xn$  і вимикаємо прапор  $XNn$ , за командою вимикання обидва прапори переводимо в їх початковий стан  $XNn$  – увімкнене,  $Xn$  – вимкнено – отримуємо циклічно-модульний шаблон елемента пам'яті (рис. 2.9).

```

IF <УМОВА ОСНОВНОЇ КОМАНДИ> AND N YFn
THEN      SET      Yn
           RESET    XNn
           SET      YFn
<СПРАЦЮВАННЯ ТАЙМЕРА>
IF      N Yn AND YFn
THEN      SET      Xn
IF      <УМОВА ЗВОРОТНОЇ КОМАНДИ>
THEN      RESET    Yn
           RESET    Xn
           SET      XNn
RESET     YFn

```

Рисунок 2.10. Шаблон циклічного модуля таймера з двома індикаторами стану

«Модуль» таймера (рис. 2.10). Якщо використати аналогію між таймером та елементом пам'яті, то можна скористатись побудованим шаблоном та додати до нього відповідні уточнення на випадок таймера. В мові STL таймер розподілено на три складові: біт таймера  $Tn$ , слово таймера  $TWn$ , преселектора таймера  $TPn$  [5, 6, 7, 13, 43].

Майже тотожний до елементу пам'яті біт таймера  $Tn$ , який є двійковою змінною. Як і елемент пам'яті, таймер отримує одиничне значення ( $Tn=1$ ) після вмикання (за командою SET). Можна побачити, що елемент пам'яті змінює свій стан при вмиканні одразу, а таймер змінює стан з деякою затримкою у часі. Тобто сигнал о відпрацюванні команди дещо запізнюється відносно сигналу команди основної дії. Перевести таймер до нульового значення ( $Tn=0$ ) можна за зворотною командою, тобто вимкнувши таймер (команда RESET). Його стан миттєво, як і у прапора, зміниться на нульовий.

Особливість: нульове значення біт таймера обіймає і самотійно – після завершення інтервалу часу (який задано в преселекторі  $TPn$ ). Тобто вмикання і відпрацювання прапора відбувається одночасно і миттєво – отримує значення 1. А для таймера вмикання і отримання одиничного значення біта відбувається миттєво, а от відпрацювання відбувається із затримкою у часі, і до того після відпрацювання біт знову повертає собі нульове значення. Таким чином, таймер працює і як прапор, і як «інвертор». Це має враховувати шаблон таймера.

Доповнюємо таймер ще одним прапором, який вмикаємо після відпрацювання таймера, а вимикаємо за командою (RESET), як і елемент пам'яті. Контроль початкового стану забезпечимо другим додатковим



прапором, як і в шаблоні елемента пам'яті.

Найважливіше уточнення викликано тим, що біт таймера має значення 0 як до вмикання, так і після відпрацювання часу. Відрізнятимемо ці нульові значення за допомогою прапора покриття таймера FTn. Вмикаємо його одночасно з таймером, так само, як і вимикаємо – одночасно. Нульове значення таймера, при увімкненому FTn вказує на відпрацювання інтервалу часу. А нульове значення біта таймера при увімкненому FTn вказує, що таймер ще не вмикали.

Робота циклічного модуля: по команді вмикання модуля таймера вмикаєм таймер, прапор покриття FXn і вимикати прапор початкового стану XNn. Після вибігу часу при увімкненому прапорі FXn та спрацьованому таймере (Tn=0) вмикаємо прапор кінцевого стану Xn. По команді вимикання модуля таймера вимикаємо прапор покриття FXn, а прапори стану переводимо до початкових значень: XNn – увімкнене, Xn - вимкнено. отримуємо шаблон програми таймера в формі циклічного модуля (рис. 2.10).

«Модуль» лічильника (рис. 2.11). Застосуємо аналогію між лічильником і таймером, шаблоном «модуля таймера» доопрацюємо до шаблону «модуля лічильника». В мові STL лічильник складають три частини: лічильник Cn, слово лічильника CWn, преселектор лічильника CPn [5, 6, 7, 13, 43]. Всі складові мають функції, подібні складовим таймера. Основна відмінність – відрахунок часу після вмикання таймера відбувається незалежно від алгоритму програми, а увімкнення лічильника ніяк не впливає на підрахунок певного

```

IF < УМОВА ОСНОВНОЇ КОМАНДИ > AND N XNn
THEN      SET      Yn      <C0>
          SET      XNn     <FC0>
“МЕХАНІЗМ ПІДРАХУНКУ”
IF      N XFj AND Xj
THEN    INC      YWn
          SET     XFj
IF      N Xj
THEN    RESET   XFj
“СПРАЦЮВАННЯ ЛІЧІЛЬНИКА”
IF      N Yn AND N XNn
THEN    SET     Xn
IF      < УМОВА ЗВОРОТНОЇ КОМАНДИ >
THEN    RESET   Yn <C0>
          RESET   Xn <XC0>
          SET     XNn <XNT0>

```

Рисунок 2.11. Шаблон циклічного модуля лічильника: n - номер модуля, j – номер модуля, сигнал щодо спрацювання якого підпадає підрахунку

факту. Тобто, до шаблону лічильника необхідно додати шаблон «підрахунку», який гратиме роль, аналогічну до генератору часу для таймера. Лічильник підраховує певний факт, наприклад, постачання товару на позицію пакування в тару. Сам контролюємий факт знаходимо за допомогою сигналу від датчика чи сенсора, який він постачає до входу контролера, наприклад Xj.

Алгоритм підрахунку виконує додавання одиниці до накопиченого раніш значення (слова лічильника) при виконанні певної умови (стрибка значення сигналу Xj від «0» до «1».

За встановленим фактом стрибка сигналу за командою INC до слова лічильника CWn додається «1». Зауважимо, що можливе і зменшення накопиченого значення у слові, для чого використовуємо команду DEC. По команді DEC значення CWn зменшується на «1».

Потрібно мати на увазі, що при виконанні команд INC и DEC алгоритм чітко виконує прописані в програмі інструкції. Якщо алгоритм виконає команду



INC десять разів, то відбудеться додавання 10 одиниць. Якщо ця команда записана в програмі один раз, але алгоритм працює за циклом, то одиниця додаватиметься до слова лічильника стільки разів, скільки циклів виконає алгоритм. Тобто, лічильник товару або деталей в технологічному процесі, перетвориться в лічильник циклів в алгоритмі програми. Особливість може бути врахована циклічною будовою модуля, а саме – контролем не тільки факту стрибка з «0» до «1», але і факту стрибка з «1» до «0». Для цього застосовуємо прапор покриття, аналогічно до таймеру. Застосовуємо прапор покриття до сигналу, що підпадає підрахунку сигналу  $X_j$ , який сформує умову для команди INC. Зауважимо, що це вже другий прапор покриття в лічильнику, оскільки перший захищає біт лічильника від повторного вмикання.

Припустимо, що сигнал  $X_j$  надходить від сенсора, встановленого на контрольній позиції. За його допомогою необхідно контролювати кількість надходження товару. Контролю підлягають два факти: 1 – надходження товару – отримання сигналу ( $X_j = 1$ ), 2 – відвантаження товару з позиції контролю – зникнення сигналу ( $\neg X_j = 1$ ).

При надходженні товару (сигнал  $X_j=1$ ) і вимкненому прапорі покриття сигналу ( $FX_{jn}=0$ ) алгоритм додає одиницю до слова лічильника ( $INC\ CW_n$ ) та вмикає прапор покриття сигналу ( $SET\ FX_{jn}$ ).

При видаленні товару з позиції (стрибок значення сигналу від  $X_j = 1$  до  $X_j=0$ ) алгоритм вмикає прапор покриття сигналу ( $RESET\ FX_{jn}$ ). Після цього лічильник готовий до надходження і підрахунку наступного примірника товару. Під час підрахунку модуль лічильника, по аналогії з іншими модулями, знаходиться «на переході до кінцевого стану». При цьому і сигнал початкового стану  $XN_n$  дорівнює «0», і сигнал кінцевого стану  $X_n$  дорівнює «0». Такі значення утримуються доти, доки значення слова лічильника не сягне значення преселектора. В цю мить лічильник отримає нульове значення (при увімкненому прапорі його покриття). Саме ця умова ( $C_n=0$  і  $FX_n=1$ ) алгоритм визначає, що підрахована потрібна кількість контрольованих фактів. Тобто «модуль лічильника» сягнув кінцевої «позиції» і буде увімкнений ідентифікатор кінцевого стану лічильника ( $SET\ X_n$ ). Цим сигналом зможуть користуватись в своїх умовах всі модулі системи.

Структура «модуля» лічильника. В порівнянні з таймером необхідно додати прапор покриття сигналу підрахунку  $FX_{jn}$  (цей самий сигнал можуть підраховувати і інші лічильники). В структурі чотири прапори: прапор покриття лічильника  $FX_n$ , прапор покриття сигналу підрахунку  $FX_{jn}$ , прапор начального стану модуля  $XN_n$ , прапор кінцевого стану модуля  $X_n$ . В шаблоні циклічного модуля з'явився внутрішній шаблон – алгоритм підрахунку.

Алгоритм модуля лічильника: по команді вмикання модуля лічильника вмикаємо біт лічильника ( $SET\ C_n$ ) та прапор покриття  $FX_n$ , і вмикаємо прапор початкового стану  $XN_n$ . Циклічно обробляємо алгоритм підрахунку. При додатному стрибку сигналу ( $X_j=1$ ) і вимкненому прапорі покриття ( $FX_{jn}=0$ ) додаємо одиницю в слово лічильника ( $INC\ CW_n$ ) та вмикаємо прапор покриття сигналу підрахунку ( $SET\ FX_{jn}$ ). При від'ємному стрибку контрольованого

```

IF < УМОВА ОСНОВНОЇ КОМАНДИ > AND N XNn
THEN      SET      Yn      <C0>
          SET      XNn     <FC0>
“МЕХАНІЗМ ПІДРАХУНКУ Xj”
IF      N XFj AND Xj
THEN    INC      YWn
          SET      XFj
IF      N Xj
THEN    RESET    XFj
“МЕХАНІЗМ ПІДРАХУНКУ Xk”
IF      N XFk AND Xk
THEN    INC      YWn
          SET      XFk
IF      N Xk
THEN    RESET    XFk
“СПРАЦЮВАННЯ ЛІЧИЛЬНИКА ”
IF      N Yn AND N XNn
THEN    SET      Xn
IF      < УМОВА ЗВОРОТНОЇ КОМАНДИ >
THEN    RESET    Yn <C0>
          RESET    Xn <XC0>
          SET      XNn <XNT0>

```

**Рисунок 2.12.** Шаблон циклічного модуля лічильника:  $n$  - номер модуля,  $j$  і  $k$  – номери модулів, сигнали щодо спрацювання яких підпадають підрахунку

сигналу ( $X_j=0$ ) вимикаємо прапор его покриття (RESET  $FX_{j,n}$ ). При увімкненому прапорі покриття лічильника ( $FX_{n,n}=1$ ) і отриманні заданої преселектором накопиченої кількості спрацьовує лічильник ( $C_n=0$ ) і алгоритм визначає завершення підрахунку увімкненням прапора кінцевого стану (SET  $X_n$ ). В цю мить система може розпочати виконання тих дій, в умовах яких є спрацювання лічильника за результатом підрахунку стрибків контрольованого сигналу ( $X_j=1$ ).

По команді вимикання лічильника (RESET  $C_n$ ) одночасно з ним вимикаємо прапор покриття  $FX_{n,n}$ , а прапорам стану модуля лічильника присвоюємо початкові значення (SET  $XN_n$ ) – увімкнене,

(RESET  $X_n$ ) – вимкнено (рис. 2.11). Зауважимо, що перед початком роботи лічильника прапори покриття мають бути вимкнені, прапор початкового стану увімкнений, а прапор кінцевого стану – вимкнено.

Додаткові можливості: за допомогою одного лічильника можна контролювати сумарну кількість декількох типів об'єктів (сполучених функцією АБО). Наприклад, на позицію вихідного контролю надходять та ідентифікуються декілька типів деталей за допомогою трьох сенсорів : придатні ( $X_j=1$ ), потребують доопрацювання ( $X_k=1$ ), непридатні ( $X_l=1$ ). Необхідно підрахувати кількість деталей, що їх буде передано на пакування, тобто придатних та тих, що після доопрацювання будуть придатні. Лічильник веде підрахунок двох фактів ( $X_j=1$ ) і ( $X_k=1$ ). Тому в один шаблон лічильника потрапляють два шаблони алгоритму підрахунку, в кожному з яких є свій прапор покриття підконтрольного сигналу  $FX_{j,n}$  і  $FX_{k,n}$  (рис. 2.12).

Аналогічно, за структурою циклічного модуля (рис. 2.1), можуть бути побудовані шаблони інших мехатронних, механічних, комбінованих схемно-інформаційних і суто інформаційних компонентів системи. Для їх розробки поперше необхідно дослідити та вивчити зміст виконуваних функцій або дій. По-друге – визначити основну та зворотну функції та запропонувати спосіб контролю їх виконання. По-третє – перетворити шаблон модуля на функціональний модуль системи. Наприклад, в шаблон лічильника додати одразу декілька логічних умов команд керування для вмикання і вимикання модуля, проставити індекс модуля замість « $n$ » та замінити на справжні імена сигналів, що підлягають підрахунку. Так само, як і для лічильника, для іншого модуля необхідно побудувати реалізацію індикаторів початкового і кінцевого

стану. Наприклад, для підпрограми індикатором кінцевого стану може бути завершення роботи алгоритму розрахункового процесу або завершення пошуку потрібних даних, а індикатором початкового стану може стати завершення підготовки початкових значень, необхідних для подальшого використання алгоритмом програми. Як перший, так і другий індикатори матимуть вигляд бінарних змінних  $X_n$  і  $X_{Nn}$ , які містяться в аргументах логічних умов команд інших модулів системи.

#### Завдання до самостійної роботи

Розробити алгоритм за яким кожне непарне натискання кнопки В1 вмикає лампочку L1, а кожне парне натискання кнопки В1 вимикає лампочку L1.

Розробити алгоритм за яким після натискання кнопки В1 вмикається лампочка L1, а після вивільнення кнопки В1 лампочка продовжує світити впродовж 5 секунд, після чого самостійно вимикається.

Розробити алгоритм за яким після трьох натискань та вивільнень кнопки В1 відбувається вмикання лампочки L1, а після натискання та вивільнення кнопки В2 відбувається вимикання лампочки L1.

Розробити алгоритм за яким після натискання кнопки В1 (команда Y1) вмикається бістабільний клапан керування пневмоциліндру, а після отримання сигналу X1 (команда відпрацьована) живлення магніту клапана припиняється.

Розробити алгоритм підрахунку кількості натискань кнопок В1 і В2 за винятком тих натискань, коли натиснута кнопка В3.

#### Питання для самоперевірки:

1. Чим відрізняються логічні умови вмикання моностабільних клапанів двопозиційних та трьохпозиційних?
2. Чи можна побудувати елемент пам'яті з використанням одного прапора?
3. Скільки елементів пам'яті необхідно для багатопозиційного модуля гідравлічного маніпулятора, якщо при висуванні штока кількість проміжних позицій складає 4, а при поверненні штока кількість проміжних позицій складає 2?
4. Чи можна побудувати багатопозиційний модуль гідравлічного маніпулятора з використанням клапану з пропорційним керуванням?
5. В яких випадках кількість входів модуля менша за два?
6. В яких випадках кількість виходів модуля менша за два?
7. Чи можна в одному модулі задіяти два таймера?
8. Навіщо зображати інформаційний елемент пам'яті та таймер у формі циклічного модуля?

### 3. ПНЕВМАТИЧНІ МОДУЛІ БІНАРНОЇ ДІЇ

#### ПРИКЛАД № 1

#### 3.1. ПНЕВМАТИЧНИЙ МОДУЛЬ ЗАВАНТАЖЕННЯ



**ПРИЗНАЧЕННЯ:** переміщення предмету на невелику відстань з однієї позиції на іншу

**СКЛАД:**

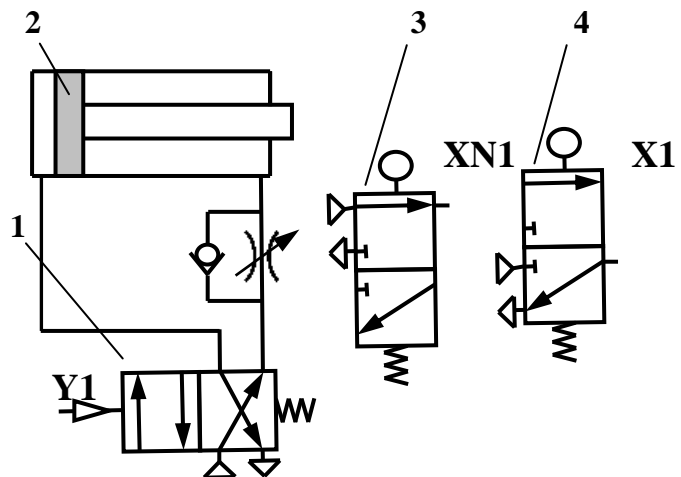
|           |                                     |
|-----------|-------------------------------------|
| керування | : клапан 5/2 моностабільний         |
| виконання | : циліндр двосторонньої дії         |
| контроль  | : клапан 3/2 моностабільний – 2 шт. |

Одним з найдешевших і простіших варіантів переміщення заготовок чи інших предметів в автоматизованому виробництві є використання спеціальних накопичувачем предметів (контейнерів, лотків під нахилом та інш.). Переміщення предмету з накопичувача в робочу зону здійснюється шляхом його виштовхування з накопичувача. Після видалення поточного предмету з накопичувача наступний примірник, під дією власної ваги, потрапляє на місце попереднього. До складу «модуля подачі» предметів або заготовок, як правило, належать виконавчий та керуючий пристрої, з доданими засобами контролю виконання дій і налаштування необхідних робочих параметрів (рис.3.1.1).

**Рисунок 3.1.1. Приклад схеми модуля подачі з пневматичним керуванням і контролем:**  
**ПРИСТРОЇ:**

1 – клапан 4/2 з моностабільним керуванням; 2 – пневмоциліндр двосторонньої дії; 3 і 4 – кінцеві вимикачі,  
**СИГНАЛИ:**

Y1 – сигнал керування, XN1 – сигнал контролю початкового стану, X1 – сигнал контролю кінцевого стану



В наведеному прикладі, в якості виконавчого пристрою, використано пневматичний циліндр двосторонньої дії. Для керування пневмоциліндром застосовано розподільчий клапан 4/2 з моностабільним керуванням. Контроль за відпрацюванням основної дії модуля (подачі деталі) виконано шляхом перевірки висунутого положення штоку за допомогою кінцевого вимикача [4,6,13,55]. Контроль за виконанням зворотної дії модуля (повернення модуля в початковий стан) здійснено шляхом перевірки втягування штоку, також за допомогою кінцевого вимикача.

Додатково, в умовах основної команди, може здійснюватись контроль наявності деталі в накопичувачі (для початку роботи модуля) та присутності

деталі в робочій зоні після її переміщення (для використання деталі наступним модулем технологічного процесу).

В лінії подачі тиску до штокової порожнини встановлено дросель із зворотнім клапаном - для обмеження швидкості виштовхування деталі з накопичувача.

Контроль початкового стану модуля може бути зіставлено з контролем наявності деталі в накопичувачі на позиції відвантаження (якщо шток циліндра висунуто, то заготовка не зможе опинитися в нижній позиції в накопичувачі).

Завдання для самостійної роботи.

Згідно даним, наведеним в (табл.3.1.1) виконати розрахунок основних параметрів складових модуля подачі та підібрати комплектуючі за каталогом.

Вихідні дані для розрахунку

Таблиця 3.1.1.

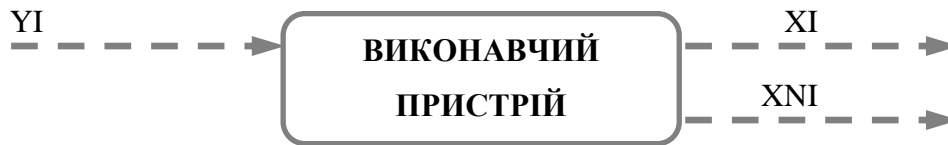
|   |     |     |      |      |      |
|---|-----|-----|------|------|------|
| Маса рухомих частин, кг                             | 1,5 | 2,6 | 2,0  | 0,6  | 1,2  |
| Тиск в лінії, МПа                                   | 0,6 | 0,5 | 0,6  | 0,8  | 1,0  |
| Витрата $Q_{\max}$ при 0,6 МПа, м <sup>3</sup> /мин | 0,6 | 0,8 | 0,4  | 0,6  | 0,3  |
| Хід поршня, мм                                      | 300 | 600 | 400  | 240  | 420  |
| Час спрацювання розподільника, с                    | 0,4 | 0,5 | 0,08 | 0,12 | 0,32 |
| Маса деталі, кг (корисне навантаження)              | 0,3 | 0,5 | 0,8  | 0,2  | 1,0  |

Питання для самоперевірки:

1. Які пневматичні пристрої використано в схемі модуля (рис. 3.1.1), назва, тип і призначення?
2. Які способи контролю результатів дій застосовано в схемі (рис. 3.1.1)?
3. Які сигнали складають логічні умови, що контролюють: основна дія модуля виконана, зворотна дія модуля виконана?
4. Які фактори необхідно врахувати при підборі обладнання?
5. Чому в схемі модуля є один сигнал команди і два сигнали контролю?

## П Р И К Л А Д № 2

### 3.2. ПНЕВМАТИЧНИЙ МОДУЛЬ ФІКСАЦІЇ



**ПРИЗНАЧЕННЯ:** фіксація деталі із заданим зусиллям затискання, виконання дії до отримання певного значення зусилля.

|               |           |                              |
|---------------|-----------|------------------------------|
| <b>СКЛАД:</b> | керування | : клапан 3/2 моностабільний  |
|               | виконання | : циліндр односторонньої дії |
|               | контроль  | : реле тиску                 |
|               |           | : геркон                     |

Модуль здійснює невелике переміщення вихідної ланки, але забезпечує надійне притискання деталі до опірної поверхні. Зусилля затискання, що забезпечує пристрій (пневматичний циліндр), відповідає розрахованому технологічному навантаженню. Значення зусилля визначає зміст і параметри операції (фіксація без деформування деталі, деформування до певного зусилля затискання). В якості виконавчого пристрою використано короткоходовий пневмоциліндр, підібраний для забезпечення потрібного зусилля (рис.3.2.1) [55].

Наприклад, в технологічному процесі здійснюється обробка поверхні алюмінієвого корпусу клапана на плоскошліфувальному верстаті. Для надійного утримання корпусу зусилля складає 2000 Н. Спираючись на тиск в лінії 6 бар, достатньо циліндра з діаметром поршня 80 мм. Повний хід поршня для притискання, з врахуванням декількох типорозмірів корпусів, складає 25 мм. Таким параметрам відповідає, наприклад, короткоходовий циліндр односторонньої дії AEVC-80-25-A-P FESTO.

До пристрою фіксації належить один виконавчий пристрій - короткоходовий пневмоциліндр односторонньої дії.

Сигнали та команди керування відповідають особливостям дії модуля. Для підвищення надійності за основною командою відбувається вивільнення деталі, у випадку зникнення сигналу відбувається затискання деталі.

Керування затисканням деталі (сигнал  $YN1 = 0$ ) сприймає моностабільний клапан 3/2. Він забезпечує фіксацію деталі у випадку відсутності або зникнення сигналу керування.

Вивільнення забезпечує подача живлення на електромагніт ( $YN1 = 1$ ).

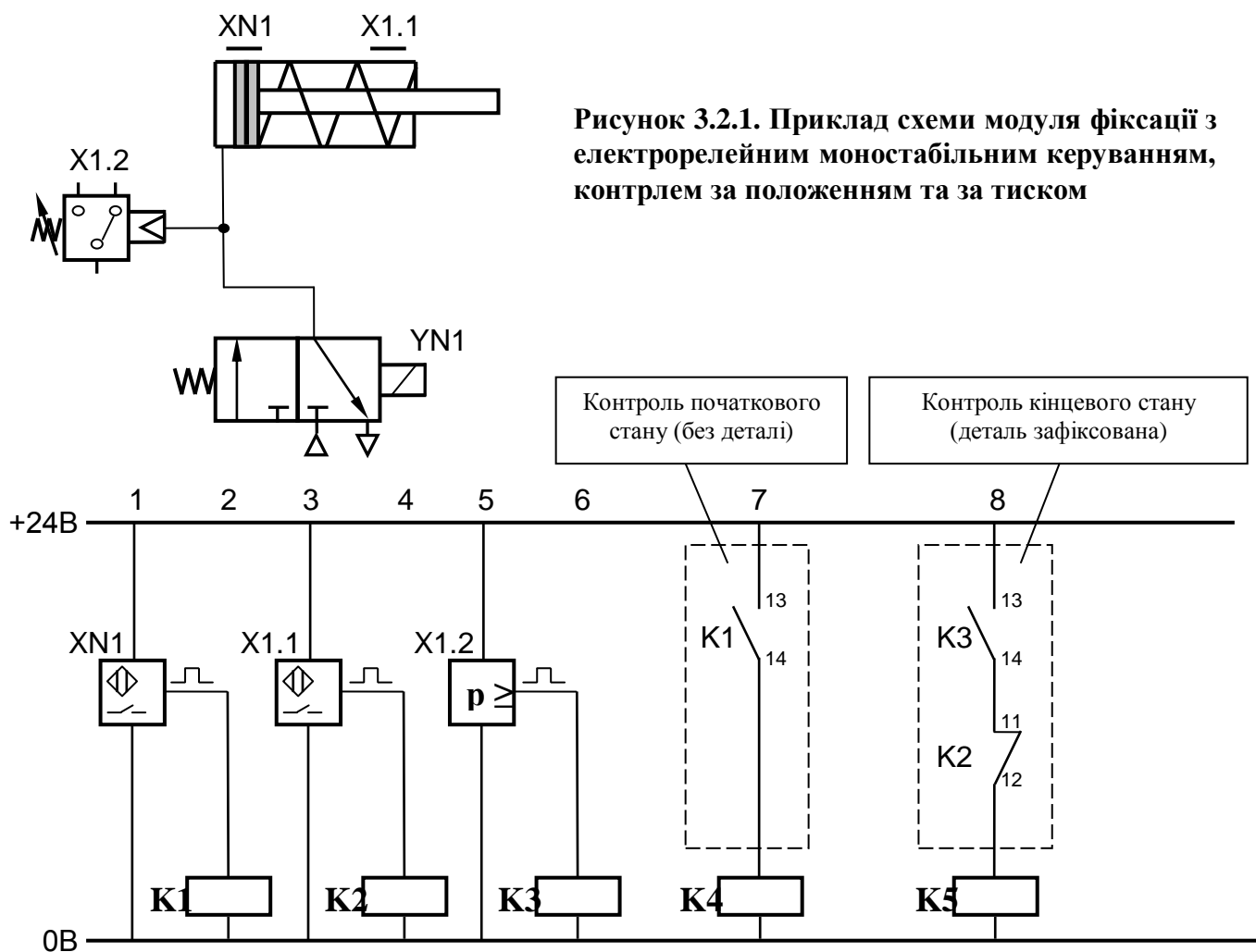
Контроль початкового стану (без деталі) виконано за положенням поршня за допомогою геркона (сигнал  $XN1$  – початкове положення).

Контроль виконання основної дії (деталь зафіксовано) виконано за допомогою логічних функцій «I» та «HI» для двох сигналів: геркона (сигнал

X1.1 кінцеве положення штока) та реле тиску (сигнал X1.2). Результируючий сигнал контролю фіксації деталі має вигляд:  $X1 = N(X1.1) \text{ AND } X1.2$ .

Перша умова N (X1.1) контролює наявність деталі в робочій зоні (інакше шток дійшов би до геркона X1.1, рис. 3.2.1), друга умова контролює зусилля затискання за допомогою реле тиску X1.2.

*Примітка.* Для налаштування зусилля фіксації, в залежності від типу деталі, може бути використано редукційний клапан, встановлений в лінії живлення розподільчого клапану 3/2. За необхідності автоматичного керування зусиллям фіксації можливе використання редукційного клапану з пропорційним керуванням. Якщо необхідно забезпечувати тільки два рівня зусилля – максимальний та номінальний, то можливе використання редукційного клапану з байпасною лінією, в якій вмонтовано клапан 2/2 або 3/2 з електромагнітним керуванням. Такий варіант є значно дешевшим та простішим в керуванні, порівняно з клапаном що має пропорційне керування.



*Примітка.* Для запобігання удару затискача о деталь може бути застосована схема під'єднання циліндра з «дроселюванням на вході». Гальмування швидкості руху штоку при затисканні, та значення зусилля в момент контакту забезпечуватиме обмеження витрати повітря до циліндру разом з зусиллям зворотної пружини.

*Примітка. Для керування фіксацією застосовано моностабільне керування з нормально відчиненим клапаном. Це сприяє підвищенню надійності системи – у разі зникнення сигналу керування деталь буде надійно зафіксована.*

Завдання для самостійної роботи.

Згідно даним (табл.3.2.1) виконати розрахунок основних параметрів і підібрати обладнання модуля фіксації.

Вихідні дані для розрахунку

Таблиця 3.2.1

|   |     |      |     |      |     |
|---|-----|------|-----|------|-----|
| Зусилля фіксації, Н                                 | 0,5 | 10   | 30  | 50   | 100 |
| Витрата $Q_{\max}$ при 0,6 МПа, м <sup>3</sup> /мин | 0,3 | 0,4  | 0,4 | 0,8  | 0,6 |
| Хід поршня (не більше), мм                          | 12  | 14   | 8   | 3    | 20  |
| Час затискання (не більше), с                       | 3   | 6    | 8   | 10   | 14  |
| Час перемикання клапана (не більш), с               | 0,2 | 0,08 | 0,6 | 0,04 | 0,5 |
| Початкове зусилля пружини, Н                        | 12  | 15   | 10  | 30   | 25  |
| Жорсткість пружини, Н/м                             | 200 | 250  | 340 | 540  | 700 |

Питання для самоперевірки:

1. Які пневматичні пристрої використано в схемі (рис. 3.2.1), назва, тип, призначення?
2. Які способи контролю виконання дії застосовано в схемі (рис. 3.2.1)?
5. Чому в схемі застосовано нормально відчинений клапан?
3. Які сигнали складають логічні умови, що контролюють: основна дія модуля виконана, зворотна дія модуля виконана?
4. Які фактори необхідно врахувати при підборі обладнання?
5. Які додаткові функції забезпечує використання моностабільного керування?
6. Чому в схемі модуля є один сигнал команди і три сигнали контролю?



### П Р И К Л А Д № 3

#### 3.3. ПНЕВМАТИЧНИЙ МОДУЛЬ МАНІПУЛЯТОРА



**ПРИЗНАЧЕННЯ:** переміщення деталі в вертикальному та горизонтальному напрямках між позиціями обробки із заданим фіксуючим зусиллям (утримання при переміщенні) деталі; основна дія – транспортування деталі + фіксація/вивільнення деталі схватом, зворотна дія – повернення пристроїв в початковий стан.

|               |           |  |
|---------------|-----------|--|
| <b>СКЛАД:</b> | керування | : клапан 5/2 бістабільний – 2 шт.<br>: клапан 3/2 моностабільний |
|               | виконання | : циліндр двосторонньої дії – 2 шт.<br>: пневмо-механічний схват |
|               | контроль  | : реле тиску – 2 шт.<br>: клапан 3/2 моностабільний – 2 шт.      |

С метою розширення функцій обладнання в одному модулі може бути використано декілька послідовно задіяних виконавчих пристроїв [44,49,41,55].

Наприклад, у виробничому процесі, після виштовхування деталі з накопичувача, необхідно її перемістити з однієї робочої зони в іншу. Для таких випадків застосовують маніпулятори – пристрої, до складу яких належать декілька виконавчих пристроїв із засобами контролю і керування, які працюють, як правило, послідовно.

Маніпулятор може бути повністю реалізовано пневматичними засобами, а саме – з 2-х пневмоциліндрів двосторонньої дії для переміщення за двома координатами X та Y, пневмо-механічного схвату, використаного для утримування деталі під час руху (рис.3.3.1).

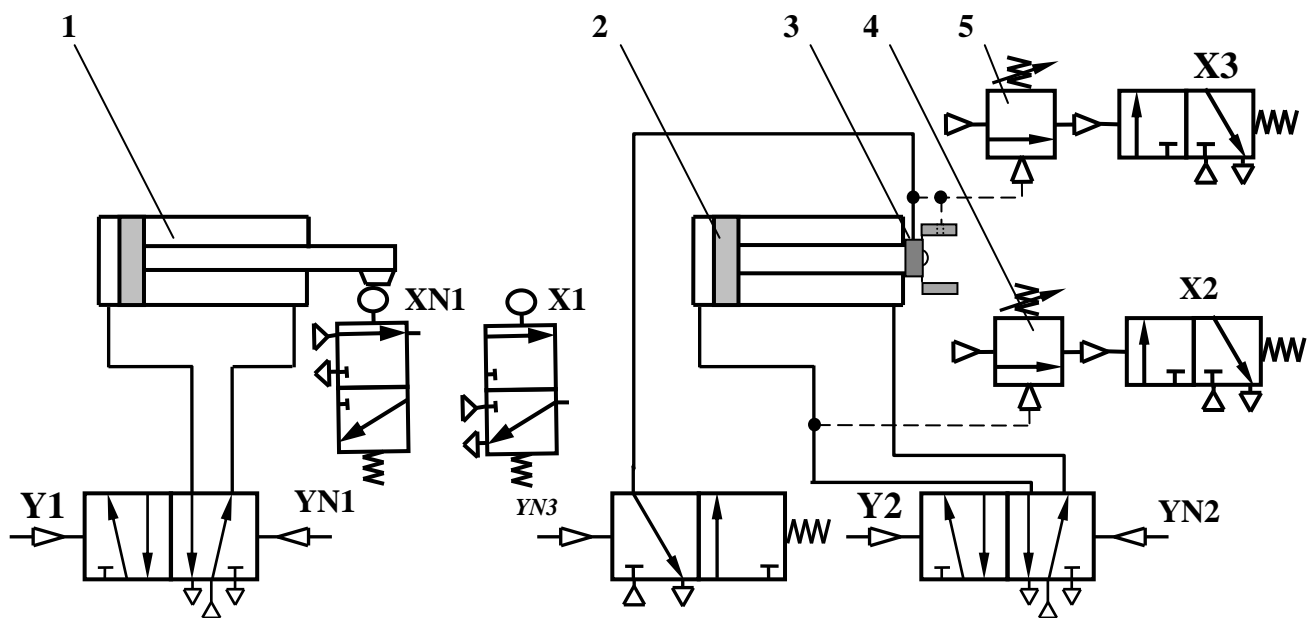
Керування горизонтальним переміщенням (сигнали Y1 і YN1) здійснено бістабільним клапаном 5/2, який, завдяки механічній пам'яті, забезпечує збереження положення маніпулятора у випадку зникнення сигналу керування. Контроль відпрацювання горизонтального переміщення виконано за положенням вихідної ланки – за допомогою двох кінцевих вимикачів або інших датчиків положення (сигнали XN1 – початкове, X1 – кінцеве положення).

Керування вертикальним переміщенням (сигнали Y2 і YN2) здійснено бістабільним клапаном 5/2, який, завдяки механічній пам'яті, забезпечує

збереження положення маніпулятора у випадку зникнення сигналу керування. Контроль нижнього положення схвату виконано за тиском за допомогою реле тиску (сигнал X2 – нижнє положення). Контроль підйому схвату здійснено за опосередкованою схемою: з використанням реле часу – по сигналу команди YN2, із затримкою у часі на відпрацювання підйому:  $XN2 = YN2 + \text{затримка часу}$ .

Керування пневмо-механічним схватом забезпечено пневматичним сигналом (сигнал YN3), за допомогою нормально відчиненого моностабільного клапана 3/2, що забезпечує утримання деталі у разі зникнення тиску в лінії керування. Контроль утримання деталі виконано за тиском за допомогою реле (сигнал X3). Контроль вивільнення схвату виконано за опосередкованою схемою: з врахуванням моностабільного керування – по наявності сигналу команди YN3 і затримкою у часі на її відпрацювання:  $XN3 = YN3 + \text{затримка часу}$ .

*Примітка.* Для привода вертикального переміщення не застосовано контроль за положенням. Це викликано тим, що циліндр вертикального переміщення пересувається разом зі штоком циліндра горизонтального переміщення, який є суттєвим навантаженням. Обладнання його ще двома кінцевими вимикачами, які суттєво збільшать рухому масу і інерційне



**Рисунок 3.3.1. Схема макромодуля пневматичного маніпулятора:**

**ПРИСТРОЇ:** 1 – пневмоциліндр горизонтального переміщення, 2 – пневмоциліндр вертикального переміщення, 3 – пневмо-механічний схват, 4 і 5 – реле тиску;

**СИГНАЛИ:** Y1, YN1– сигнали керування горизонтального переміщення, X1, XN1 – сигнали контролю положення по горизонтальній осі, Y2, YN2 – сигнали керування вертикального переміщення, X2 – сигнал контролю нижнього положення, YN3 – сигнал керування схвата, X3 – сигнал контролю утримання деталі схватом

навантаження, призведе до збільшення типорозміру циліндра горизонтального переміщення, що викличе зменшення корисного навантаження маніпулятора.

*Примітка.* В модулі не просто використано моностабільне керування, а сигнал команди викликає не фіксацію, а вивільнення деталі. Тобто, при зникненні живлення в системі керування – схват має надійно утримувати деталь. Таке рішення викликано вимогою підвищення надійності системи – при зникненні сигналу керування деталь, замість самовільного падіння в робочу зону буде надійно триматися в схваті.

Завдання для самостійної роботи.

Використати результати попередніх розрахунків щодо часу спрацювання пристроїв прикладу №1 (модуль завантаження) і модуль №2 (модуль фіксації) побудувати циклограму дій маніпулятора:

Дія 1: Відкриття схвату (приймаємо час спрацювання 0,3 с + час перемикання клапану);

Дія 2: Опускання схвату до деталі (час спрацювання за розрахунком);

Дія 3: Фіксація деталі схватом (час спрацювання за розрахунком);

Дія 4: Підйом схвату (приймаємо час, рівний часу опускання);

Дія 5: Переміщення схвату з деталлю циліндром 1 (рис. 3.3.1.) (приймаємо час виконання основної/зворотної дії 5 с);

Дія 6: повторення дії 2;

Дія 7: повторення дії 4;

Дія 8: Закриття схвату;

Дія 9: Повернення циліндра 1.

Дія 10: повторення дії 1

**\*\*** Доповнити схему елементами затримки часу.

Питання для самоперевірки:

1. Які пневматичні пристрої використано в схемі (рис. 3.3.1), назва, тип і призначення?
2. Які способи контролю відпрацювання дій застосовано в системі?
3. Як запобігти руйнуванню деталі в затискному пристрої через перевищення допустимого зусилля?
4. Які логічні вирази вихідних сигналів відповідають контролю відпрацювання: основної дії модуля, зворотної дії модуля?

## 4. ГІДРАВЛІЧНІ МОДУЛІ БІНАРНОЇ ДІЇ

### ПРИКЛАД № 4

#### 4.1. МОДУЛЬ ГІДРАВЛІЧНОГО ПІДЙОМНИКА



**ПРИЗНАЧЕННЯ:** підйом/опускання предметів великої ваги та габаритів (пакунків, елементів конструкцій, поковок чи злитків, контейнерів). Може використовуватись як стаціонарний перевантажувач між декількома рівнями або як мобільний навантажувач.

|                  |           |  |
|------------------|-----------|--|
| <b>СКЛАД №1:</b> | керування | : клапан 3/3 (3/2 + 2/2) моностабільний  |
|                  | виконання | : циліндр односторонньої дії<br>: клапан тиску (підпірний)<br>: регулятор потоку |
|                  | контроль  | : кінцевий вимикач 2 шт.   |
| <b>СКЛАД №2:</b> | керування | : клапан 4/3 моностабільний  |
|                  | виконання | : циліндр двосторонньої дії<br>: клапан тиску (підпірний)<br>: регулятор потоку  |
|                  | контроль  | : кінцевий вимикач 2 шт.   |

Система може бути побудована в декількох варіантах, які майже однакові за своїми функціями, але мають відмінності у складі і особливостях роботи:

Варіант №1: 1 - циліндр односторонньої дії + 3/3 клапан + 2 кінцевика + клапан підпірний + регулятор витрати – обмежувач швидкості.

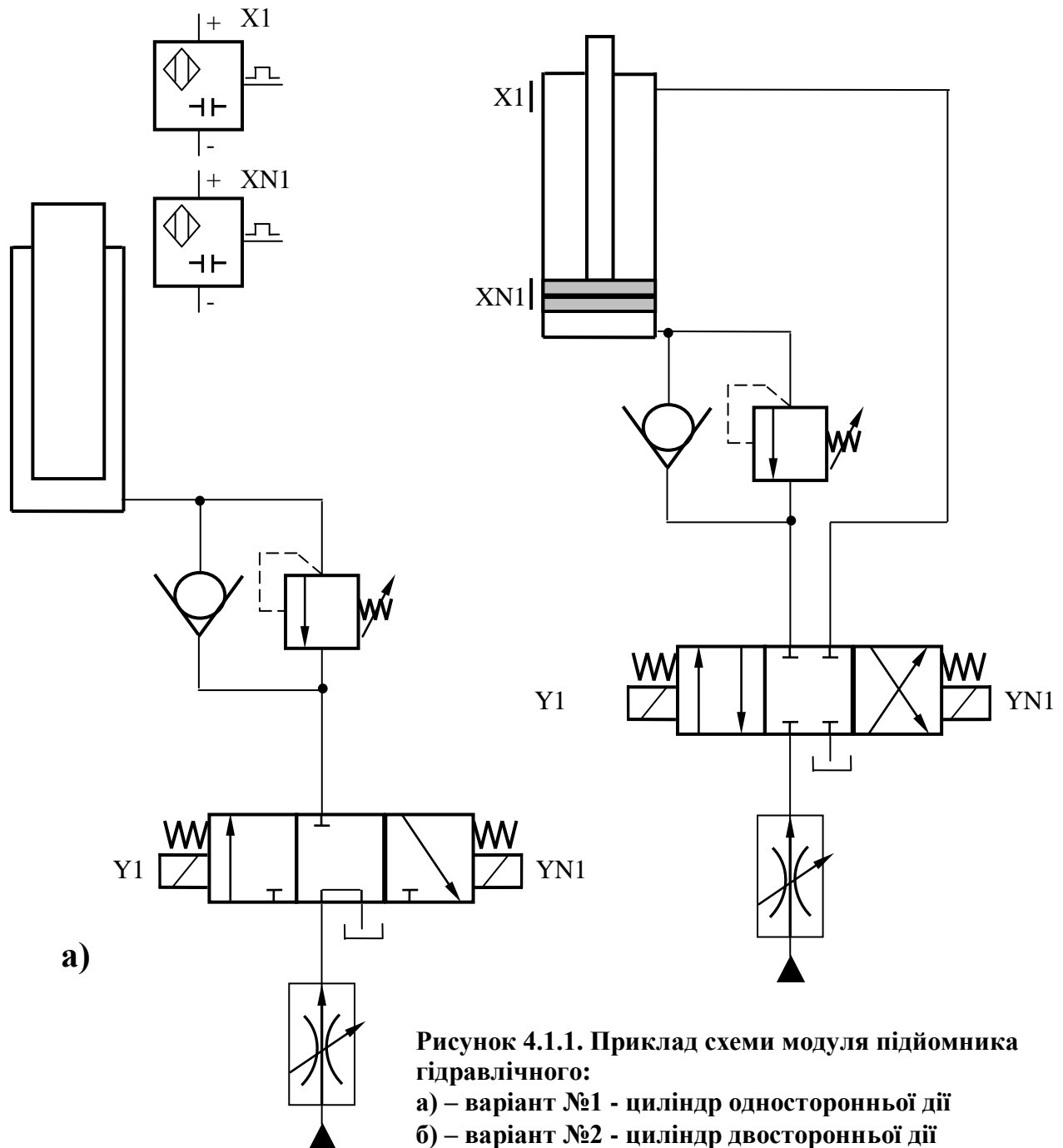
Варіант №2: 1 - циліндр двосторонньої дії + 4/3 клапан + 2 кінцевика + клапан підпірний + регулятор витрати – обмежувач швидкості.

Модуль здійснює підйом та опускання вантажів великої маси використовують гідролінійні приводи [2,21,29,36,39,67]. Найпростіші – домкрати, оздоблено ручним насосом. Відмінність гідролінійних підйомників – це великий діапазон ваги вантажів, переміщення вантажу з малою швидкістю, утримання в проміжних положеннях без додаткових витрат енергії.

Підйомники можуть бути автономними, або належати до складу автоматизованих систем (штабельор, автоматизований склад, вантажний ліфт, навантажувач і т. ін.).

Для утримання вантажу великої маси, а також в умовах вібрацій або значних динамічних навантажень може бути застосовано гідролінійний замок, який розблоковують тільки на час переміщення.

В системах гідравлічних підйомників, для запобігання падінню вантажу при опусканні, може бути застосовано підпирний клапан тиску і/або регулятор потоку як обмежувач швидкості.



**Рисунок 4.1.1. Приклад схеми модуля підйомника гідравлічного:**

**а) – варіант №1 - циліндр односторонньої дії**

**б) – варіант №2 - циліндр двосторонньої дії**

В системах з циліндром односторонньої дії, для запобігання падінню вантажу при опусканні частіше використовують регулятор витрати, який обмежує швидкість. Використання підпирного клапана потребує попереднього налаштування на вагу вантажу, що ускладнює його використання в автоматизованих системах. Для тимчасового вилучення підпирного клапана з роботи системи застосовують додатковий обвідний (байпасний) канал для опускання навантажувача при відсутності вантажу. Для роботи в цьому варіанті має бути використаний клапан відкриття/закриття байпасного каналу,

наприклад, клапан 2/2, моностабільний. З врахуванням бажаного розвантаження насосного агрегату можуть бути побудовані і інші принципові рішення.

Система за варіантом №1. В схемі підйомника використано циліндр односторонньої дії. Система керування дозволяє під'єднувати його порожнину до напірної лінії (підйом вантажу), до зливної лінії (опускання вантажу), або запирати в порожнині рідину (утримання вантажу в необхідному положенні). Для керування використано трипозиційний клапан (3/3) (сигнали керування Y1 і YN1, рис. 4.1.1.а).

Підйом вантажу здійснюється за сигналом, що відповідає логічній умові: Y1 AND N X1. Рідина потрапляє в порожнину циліндру через зворотний клапан в обхід підпірного клапана тиску. Інверсія сигналу (N X1) забезпечить зупинку руху при досягненні позиції, заданої датчиком X1.

Опускання вантажу здійснюється за сигналом команди без додаткової умови: YN1. При цьому рідина з порожнини циліндра перетікає, під дією вантажу, через підпірний клапан.

Контроль підйому/опускання виконано за положенням за допомогою двох кінцевих вимикачів або сенсорів (сигнали XN1 – початкове (нижнє) положення, X1 – кінцеве (верхнє) положення).

Система за варіантом №2. В схемі підйомника використано циліндр двосторонньої дії. Система керування дозволяє під'єднувати його нижню порожнину до напірної лінії (підйом вантажу), до зливної лінії (опускання вантажу), або запирати рідину в обох порожнинах (утримання вантажу в необхідному положенні). Для керування використано трипозиційний клапан (4/3) (сигнали керування Y1 і YN1, рис. 4.1.1.б).

Підйом вантажу здійснюється за сигналом команди Y1 з додатковою логічною умовою: Y1 AND N X1. Інверсія сигналу (N X1) зупиняє рух вантажу в позиції знаходження датчика X1. Клапан в середньому положенні замикає обидві порожнини циліндра.

Опускання вантажу здійснюється за сигналом команди: YN1.

Контроль підйому/опускання вантажу виконано за положенням за допомогою двох кінцевих вимикачів або сенсорів (сигнал XN1 – початкове положення (нижнє), X1 – кінцеве положення (верхнє)).

---

*Примітка. За умов керування оператором контроль верхнього положення здійснюється візуально, через що сигнал датчика X1 замінено на сигнал з пульта керування. Контроль нижнього положення, якщо воно співпадає з кінцевим положенням поршня в циліндрі також може виконуватись візуально, інакше, бажано додавати сигнал датчика навіть за умов ручного керування.*

*Примітка. Для варіанту з циліндром односторонньої дії необхідно забезпечити опускання без вантажу. Тобто, рідина має видалятися з порожнини під дією рухомих мас конструкції підйомника. Зливна лінія має обходити підпірний клапан, але швидкість зливу рідини бажано обмежити.*

---

Завдання для самостійної роботи.

Згідно даними (табл.4.1.1) виконати розрахунок часу прямого і зворотного ходу гідравлічного підйомника з плунжерним та поршневим циліндром. Вибір гідравлічної апаратури виконати за каталогом для трубопроводів  $d_v = 16$  мм. Втратами тиску в апаратах та гідравлічних лініях знехтувати.

Вихідні дані для розрахунку

Таблиця 4.1.1

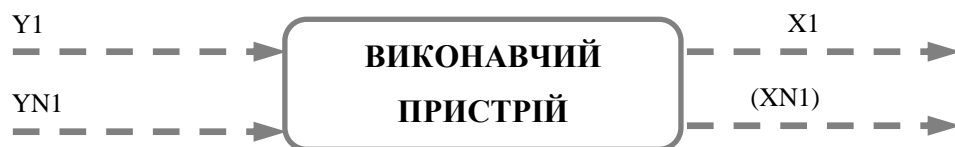
|  |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|
| Маса вантажу, кг   | 800  | 600  | 300  | 500  | 1000 |
| Маса рухомих частин, кг                                      | 300  | 220  | 180  | 280  | 320  |
| Номінальний тиск, МПа  | 6    | 4    | 3,2  | 4,8  | 3,6  |
| Номінальна витрата насосу, л/хв.                             | 50   | 30   | 80   | 100  | 60   |
| Хід приводу, мм  | 1000 | 1400 | 800  | 1100 | 1125 |
| Діаметр поршня, мм   | 120  | 100  | 160  | 200  | 140  |
| Співвідношення площ порожнин гідроциліндра $\psi$ варіанту 2 | 1,33 | 1,4  | 1,33 | 1,45 | 1,45 |
| Налаштування клапану підпірного, МПа                         | 2,4  | 1,2  | 2,2  | 3,2  | 3,4  |
| Налаштування регулятора витрати, % номіналу                  | 40%  | 60%  | 50%  | 35%  | 25%  |
| Час перемикання клапану, с                                   | 0,2  | 0,8  | 0,6  | 0,4  | 0,5  |

Питання для самоперевірки:

1. Які гідравлічні пристрої використано в системі (рис. 4.1.1), назва, тип, призначення?
2. Які способи контролю використано в системі підйомника (рис. 4.1.1)?
3. Чи потрібен байпасний канал для опускання порожнього підйомника в схемі варіанту б)?
4. Чи можна клапан тиску використати для обмеження швидкості руху при підйомі вантажу?
5. Яка з схем виконана з розвантаженням насосного агрегату під час відсутності руху?

## П Р И К Л А Д № 5

### 4.2. МОДУЛЬ ТРАНСПОРТЕР ГІДРАВЛІЧНИЙ НЕРЕВЕРСИВНИЙ



**ПРИЗНАЧЕННЯ:** *переміщення предметів (деталей, сипучих матеріалів і т.п.) в горизонтальному напрямку.*

|               |           |   |
|---------------|-----------|---|
| <b>СКЛАД:</b> | керування | : клапан 3/2 бістабільний (рух/зупинка)         |
|               | виконання | : гідромотор нереверсивний (рух стрічки вперед) |
|               |           | : регулятор витрати (обмежувач швидкості)       |
|               | контроль  | : датчики чи сенсори – 2 шт.                    |

Для переміщення вантажів на одному рівні або при невеликих кутах нахилу часто використовують транспортери, у тому числі з приводом у вигляді гідравлічного нереверсивного мотору із засобами контролю і керування [9,29,39,27,66]. В найпростіших конструкціях привідний барабан стрічки безпосередньо з'єднано з вихідним валом гідромотора.

Відмінністю модуля гідроприводу транспортера є фактична відсутність початкового положення вихідної ланки (вала гідромотора чи стрічки). Сигнал щодо відпрацювання команди керування на переміщення вантажу має опосередкований зв'язок з станом гідромотору.

Наприклад, вантаж розташовано на стрічці, а за напрямком її руху встановлено сенсор (оптичний, ємнісний), який є чутливим до вантажу. Тобто, сигнал від сенсору засвідчує відпрацювання команди на переміщення вантажу у визначену позицію. Основна дія транспортеру завершена, рух стрічки припинено. Система розпочинає виконання наступної дії, наприклад вилучення вантажу зі стрічки за допомогою маніпулятора.

При завантаженні стрічки положення валу гідромотору не має значення. Тобто, початковим положенням модуля транспортеру є будь яке із зупиненим рухом стрічки. Сигналом контролю за виконанням модулем основної дії є зовнішній сигнал, що контролює положення переміщуваного на стрічці вантажу, тобто контролює не стан приводу, а положення зовнішнього об'єкту (наприклад, положення вантажу). Використання опосередкованого контролю дозволяє з одним виконавчим пристроєм обслуговувати декілька позицій вивантаження. В якості сигналу контролю відпрацювання зворотної дії привода (початкового стану) є сигнал зворотної команди з доданим часом на припинення руху транспортеру.



Варіант транспортування сипучого матеріалу до бункера-накопичувача. Кінцевим станом є визначена кількість матеріалу, що накопичена в бункері. Тобто, якщо вага бункера сягає визначеної величини, то сигнал, що контролює вагу, відповідає завершенню основної дії модуля «заповнити бункер», після чого, за зворотною командою, гідромотор буде зупинено.

Опосередкований контроль кінцевого стану привода: основна дія – за зовнішнім сигналом, що контролює позицію вантажу або вагу бункера.

Контроль початкового стану привода – за сигналом команди на припинення руху з доданим часом на зупинку транспортеру.

Транспортери з гідравлічним приводом можуть пересувати вантаж з малою швидкістю без додаткового редуктора, здійснювати керування швидкістю руху стрічки, забезпечувати значний крутний момент на початку руху (момент зрушення), можуть утримувати транспортер нерухомим без використання додаткових механічних гальмівних пристроїв. Транспортери можуть входити до складу автоматизованих систем (автоматизований склад, конвеєрна виробнича лінія, мобільний навантажувач і т.і.), та в системах з ручним керуванням, коли функції контролю і керування передано оператору.

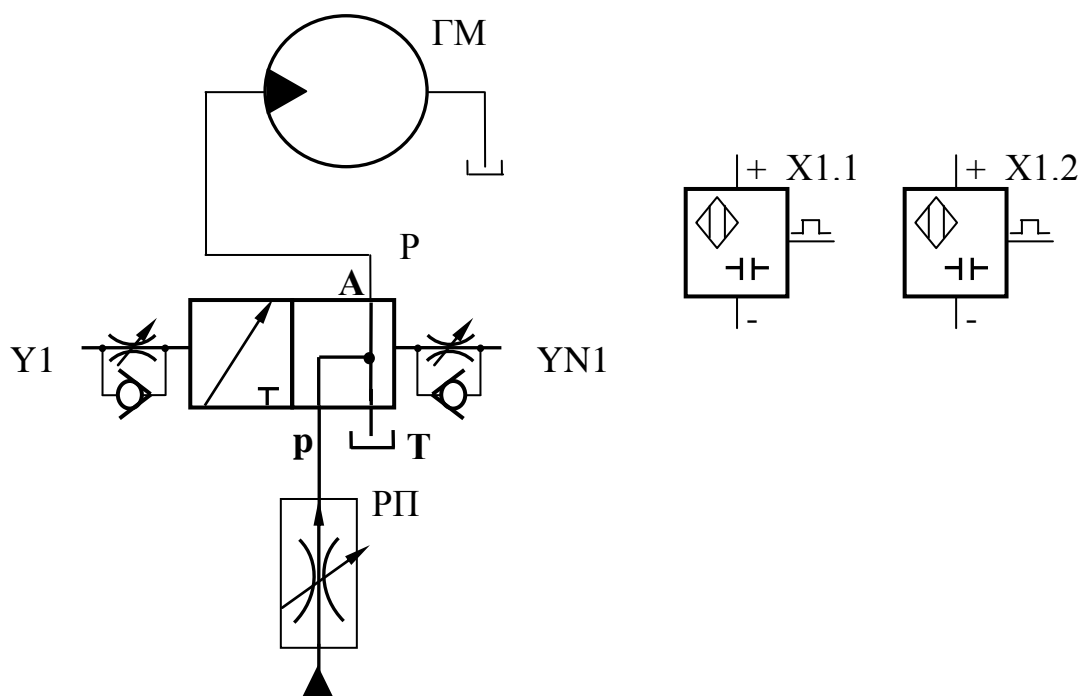
Для транспортування дуже важких вантажів може бути застосовано регульований гідравлічний мотор, з машинним регулюванням швидкості. При невеликій рухомій масі використовують дросельне регулювання швидкості.

З врахуванням вимог щодо енергозбереження використовують схеми з розвантаженням насосного агрегату, в яких застосовують додатково гідравлічні замки для попередження некерованого руху транспортеру (під час завантаження, на похилих за кутом стрічках).

В схемі гідроприводу транспортера використано дросельне регулювання швидкості (рис. 4.2.1). Система керування дозволяє: а) з'єднувати порожнину гідромотору з насосним агрегатом або зливною лінією, б) розвантажувати насосний агрегат. Для керування використано двопозиційний клапан 3/2 (сигнали команд: Y1 - рух, і YN1 – приписка руху). Сигнал контролю за виконанням основної дії X1.1 – перша позиція відвантаження, X1.2 – друга позиція відвантаження, тобто  $X1 = X1.1 + X1.2$ . Сигнал контролю виконання зворотної дії ототожнено із сигналом команди  $XN1 = YN1$ .

Значення швидкості руху задано регулятором витрати. Для плавних початку руху та зупинки стрічки використано розподільчий клапан з вмонтованими демпферами.

*Примітка. При використанні опосередкованих сигналів контролю необхідно враховувати запізнення чи випередження такого сигналу по відношенню до дійсного стану щодо відпрацювання дії. Інколи врахування може бути виконано в апаратній частині системи керування – випереджена координата розташування датчика або значення ваги бункера, або в алгоритмі керування – створення часової затримки певного значення.*



**Рисунок 4.2.1. Схема нереверсивного транспортера з нереверсивним гідромотором, клапаном 3/2 з гідравлічним керуванням і датчиками опосередкованого контролю позицій вивантаження**

Завдання до самостійної роботи

Розрахувати швидкість руху стрічки та крутний момент на валу гідромотора за наступними даними. Вибір обладнання базувати на діаметрі трубопроводів  $d_v = 10$  мм та даним, наведеним у таблиці 4.2.1. Втрати тиску по довжині каналів і в апаратах нехтувати.

Вихідні дані для розрахунку

Таблиця 4.2.1

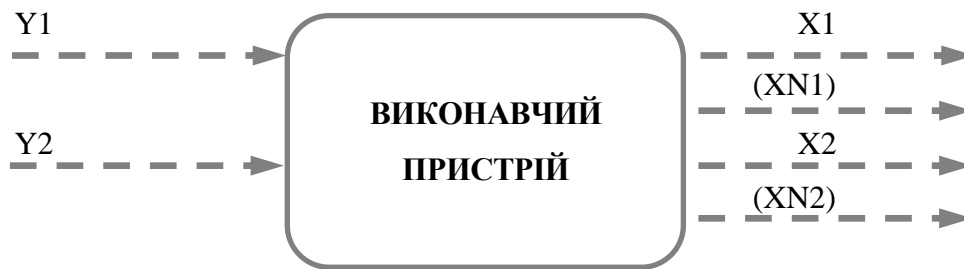
|  |     |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| Перепад тиску на гідромоторі, МПа              | 5,3 | 3,2 | 4,1 | 2,8 | 3,6 |
| Номінальний тиск, МПа                          | 8,3 | 5,2 | 6,4 | 3,2 | 4,8 |
| Номінальна витрата, $\text{дм}^3/\text{хв}$    | 8   | 12  | 10  | 16  | 8   |
| Робочий об'єм мотора, $\text{см}^3$            | 6   | 12  | 8   | 10  | 8   |
| Налаштування регулятора потоку, % від номіналу | 40% | 60% | 50% | 35% | 25% |

Питання для самоперевірки:

1. Які гідравлічні пристрої використано в системі, назва, тип, призначення?
2. Які способи контролю застосовано?
3. Чи залежить ККД модуля від налаштування регулятора потоку?
4. Яку кількість позицій відвантаження може забезпечити транспортер?

## П Р И К Л А Д № 6

### 4.3. МОДУЛЬ ТРАНСПОРТЕР ГІДРАВЛІЧНИЙ РЕВЕРСИВНИЙ



**ПРИЗНАЧЕННЯ:** реверсивне переміщення предметів (деталей, тари, контейнерів, сипучих матеріалів і т.п.) в горизонтальному напрямку з декількома позиціями завантаження/вивантаження.

**СКЛАД:**

|           |   |
|-----------|---|
| керування | : клапан 4/3 моностабільний (рух в двох напрямках, зупинка) |
| виконання | : гідромотор реверсивний (рух стрічки вперед/назад)         |
|           | : регулятор витрати (обмежувач швидкості)                   |
| контроль  | : датчики чи сенсори – 2 (... n) шт.                        |

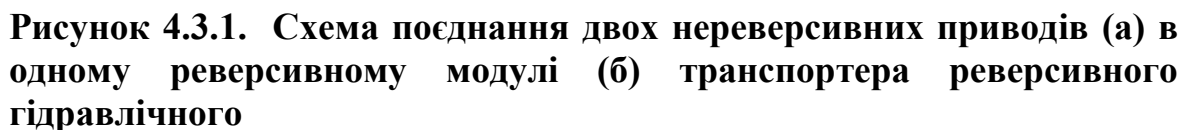
Для переміщення вантажів на одному рівні або при невеликих кутах використовують реверсивні транспортери.

Наприклад, транспортер забезпечує подачу заготовок оброблювальної станції (рух вперед) і відвантаження готових деталей від станції (рух назад). Позиція постачання заготовок на транспортер та позиція відвантаження деталей з транспортера на виробничу лінію суміщені. Або з однієї позиції надходження відбувається транспортування деталей на дві позиції оброблення, після чого деталі з цих позицій переходять далі без участі транспортера. Позиція завантаження обирається довільно, за фактом завантаження деталі на стрічку. Потрібна позиція доставки визначається увімкненням датчиком, сигнал якого має припинити рух.

За своїм змістом модуль реверсивного транспортера об'єднує два модулі нереверсивного транспортера (приклад №5). Якщо додати до транспортера два привідних барабани, і кожний з гідромотором та обгінною муфтою, а гідромотори з'єднано з насосною станцією так, що при вмиканні одного з них в напірну лінію, інший рідина буде обходити по байпасній лінії, то задача буде розв'язана. Приклади схем і основні розрахунки: [1,18,23,27,29,35,36,39,86].

Використання реверсивного гідромотора спрощує схемне рішення та зберігає логіку функціонування модуля з двома гідромоторами нереверсивними. Перший гідромотор забезпечує рух вперед та зупинку (так само, як транспортер нереверсивний). Другий гідромотор забезпечує рух назад і зупинку (так само, як транспортер нереверсивний). Для керування

Модуль транспортера реверсивний фактично складається з двох функціональних модулів, реалізація яких частково співпадає – спільний



Складна структура модуля потребує узгодженого послідовного вмикання/вимикання його складових, а саме – перш ніж подавати команду на

рух вперед, має бути відмінена команда на рух назад, і навпаки.

Сигнали керування і контролю, при використанні клапану 3/4 і зупинками в проміжних положеннях за сигналом від датчика, мають особливості.

Основна дія – рух до отримання сигналу контролю позиції. Зворотна дія – припинення руху.

Система керування рухом вперед дозволяє: а) під'єднувати порожнини гідромотора до напірної та зливної ліній, б) відсікати порожнини гідромотора від ліній (можливо - розвантажувати насосний агрегат). Працює ліва та середня позиції клапану 4/3 (сигнал основної команди:  $Y1$  – рух вперед, сигнал зворотної команди для моностабільного керування – відсутність сигналу основної команди  $YN1 = N Y1$  – припинення руху). Сигнал контролю за відпрацюванням основної команди – сигнал від датчика контролю потрібної позиції  $X1$ . Сигнал контролю за відпрацюванням зворотної команди ототожнено з самим сигналом команди із запізненням у часі:  $XN1 = YN1 + \Delta t$  – часове запізнення.

Система керування рухом назад дозволяє: а) під'єднувати порожнини гідромотора до напірної та зливної ліній, б) відсікати порожнини гідромотора від ліній (можливо – розвантажувати насосний агрегат). Працює права та середня позиції клапану 4/3 (сигнал основної команди:  $Y2$  – рух назад, сигнал зворотної команди для моностабільного керування – відсутність сигналу основної команди  $YN2 = N Y2$  – припинення руху). Сигнал контролю за відпрацюванням основної команди – сигнал від датчика контролю потрібної позиції  $X2$ . Сигнал контролю за відпрацюванням зворотної команди ототожнено з самим сигналом команди із запізненням у часі:  $XN2 = YN2 + \Delta t$  – часове запізнення.

Переміщення вантажу зліва направо здійснюється за сигналом команди з додатковою логічною умовою:  $Y1 \text{ AND } N X1$ . Інверсія сигналу ( $N X1$ ) забезпечує нульове значення сигналу команди в необхідній позиції завершення руху – позиції датчика  $X1$ . Під впливом сигналу ( $N X1$ ) моностабільний клапан потрапляє в середню позицію, відсікає порожнини гідромотора, можливо - розвантажує насосний агрегат, припиняє рух транспортеру.

Переміщення вантажу зліва направо здійснюється за сигналом команди з додатковою логічною умовою:  $Y2 \text{ AND } N X2$ . Інверсія сигналу ( $N X2$ ) забезпечує нульове значення сигналу команди в необхідній позиції завершення руху – позиції датчика  $X2$ . Моностабільний клапан потрапляє в середню позицію, відсікає порожнини гідромотора, можливо - розвантажує насосний агрегат, припиняє рух транспортеру.

*Примітка. Для модулів подібного типу визначення початкового стану та кінцевого стану залежить від змісту дій, виконуваних модулем.*

*Варіант 1. Основна команда – рух до датчика. Початковим станом для модуля руху вперед і для модуля руху назад є нерухомий транспортер. Кінцевим станом відпрацювання команд також є нерухомий транспортер, але, із зупиненням біля датчика вантажем. Тобто, транспортер, за сигналом від датчика буде зупинено за виразом основної команди, так би мовити і без*

зворотної команди. Але, якщо датчик просто вимкнути, то за основною командою рух буде поновлено. А от після отримання зворотної команди, навіть вимкнення датчика рух не поновить.

Варіант 2. Основна команда – рух, зворотна команда – припинення руху. Наприклад, основна команда вмикає транспортер для наповнення бункеру-змішувача. Після вмикання транспортеру активізується ланцюг дій інших модулів (вмикання дозаторів, що надають компоненти суміші на транспортер, починає працювати привід змішувача, розпочинається контроль заповнення бункера). За сигналом «бункер заповнено» припиняють роботу дозатори і зупиняється транспортер. Результатом відпрацювання основної дії є рухомий транспортер. Для контролю може бути використано датчик руху, за опосередкованою ознакою – ліва позиція клапану. Тобто сигнал контролю за відпрацюванням основної дії:  $XI = YI + \text{часова затримка}$ . Аналогічно, сигнал контролю за відпрацюванням зворотної команди:  $XNI = N YI + \text{часова затримка}$  (оскільки команди  $YNI$  немає внаслідок застосування моностабільного клапану).

#### Завдання до самостійної роботи

Розрахувати швидкість руху стрічки (діаметр барабану 0,4 м) в двох напрямках та крутний момент на валу гідромотора за наступними даними. Вибір обладнання базувати на діаметрі трубопроводів  $d_y = 10$  мм та даним, наведеним у таблиці 4.3.1. Втратами тиску по довжині каналів і в апаратах нехтувати.

Вихідні дані для розрахунку

Таблиця 4.3.1.

|  |     |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| Перепад тиску на гідромоторі, основний рух, МПа  | 5,3 | 3,2 | 4,1 | 2,8 | 3,6 |
| Перепад тиску на гідромоторі, реверсний рух, МПа | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Номінальний тиск, МПа                            | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 8,0 |
| Номінальна витрата, $\text{дм}^3/\text{хв}$      | 8   | 12  | 10  | 16  | 8   |
| Робочий об'єм мотора, $\text{см}^3$              | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  |
| Налаштування регулятора потоку, % від номіналу   | 40% | 60% | 50% | 35% | 25% |

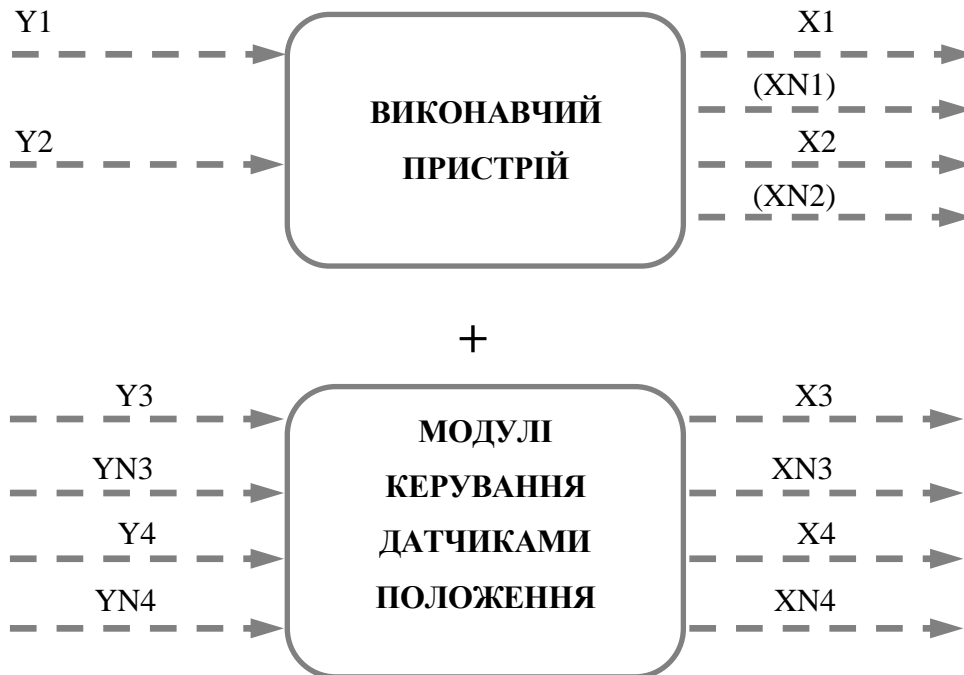
Питання для самоперевірки:

1. Які параметри впливають на швидкість руху стрічки?
2. Що необхідно змінити в схемі для розвантаження насосного агрегату?
3. Як забезпечити різну швидкість руху стрічки в основному і реверсному напрямках?

## 5. МАКРОМОДУЛІ ІЗ ЗМІНОЮ НАЛАШТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ

### ПРИКЛАД № 7

#### 5.1. МОДУЛЬ МАНІПУЛЯТОРА ГІДРАВЛІЧНОГО БАГАТОПОЗИЦІЙНОГО



**ПРИЗНАЧЕННЯ:** лінійне переміщення робочого органа, наприклад схвата, інструмента чи пристрою контролю, між 3-ма і більше визначеними позиціями. основна дія №1 – переміщення вперед, зворотна дія №1 – вимкнути переміщення вперед, основна дія №2 – переміщення назад, зворотна дія №2 – вимкнути переміщення назад.

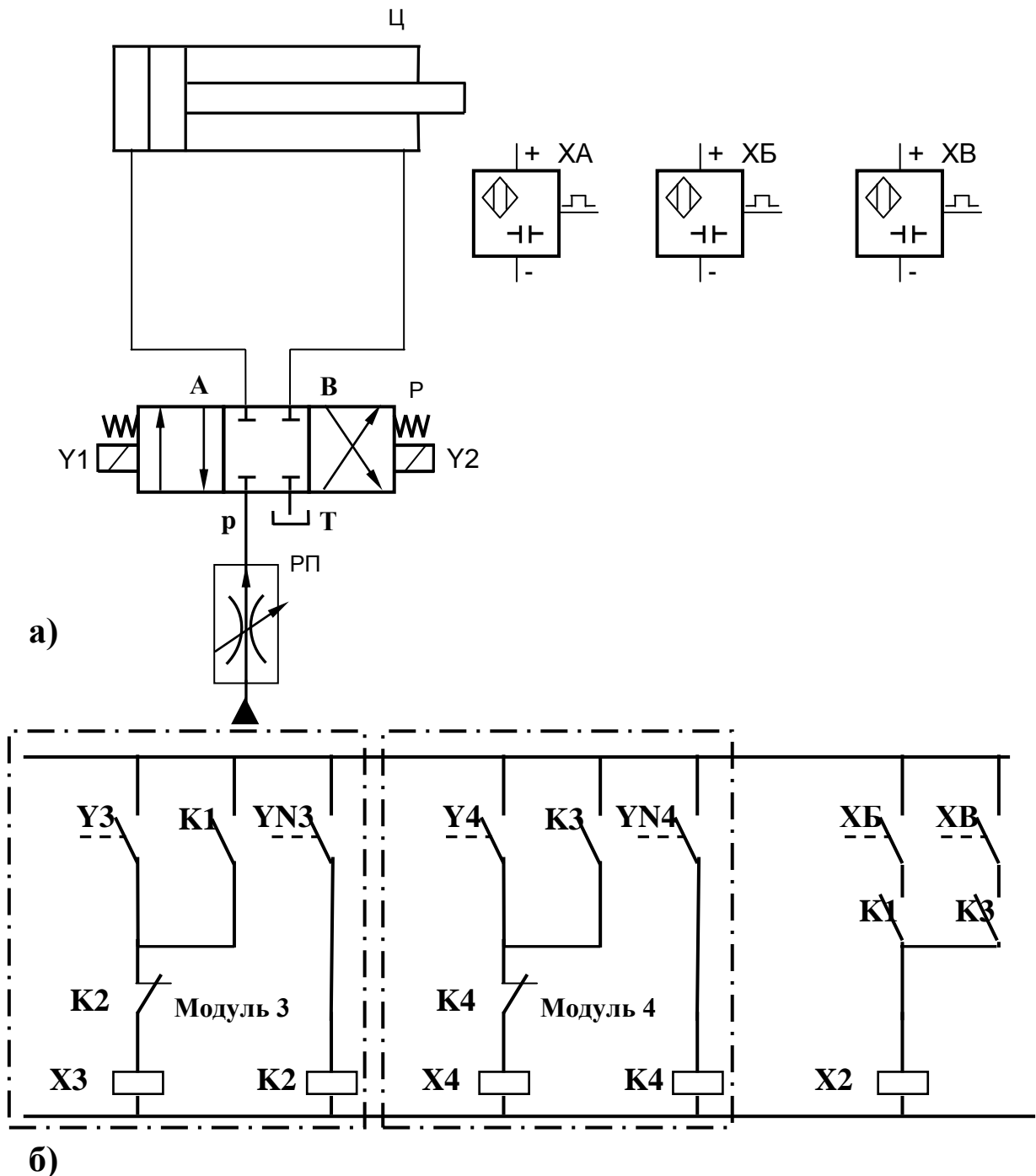
**СКЛАД:**

|           |   |  |
|-----------|---|--|
| Керування | : | клапан 4/3 моностабільний (зміна напрямку, зупинка). |
| Виконання | : | циліндр двосторонньої дії.                           |
|           | : | регулятор витрати (обмеження швидкості)              |
| Контроль  | : | датчики положення чи сенсори – 3 (...n) шт.          |
|           | : | модулі керування датчиками – 3 (...n) шт.            |

Для розподілення деталей за декількома позиціями або використання одного інструменту в декількох зазначених координатах застосовують багатопозиційні гідравлічні і пневматичні приводи з електрорелейним керуванням [1,6,13,15,18,21,22].

Наприклад, гідропривод маніпулятора (рис. 5.1.1) розподіляє заготовки з вхідної позиції (ХА) на дві інші, що розташовані з одного боку від неї, і відповідають розташуванню лотків (ХБ і ХВ).

При набутті одиничного значення сигналом команди на подачу заготовки горизонтальний привод маніпулятора переходить до вхідної позиції, в якій схват захоплює заготовку. Після цього привод переміщує схват із заготовкою до лотка, біля якого попередньо було увімкнено датчик. Після отримання від датчика сигналу рух припиняється. Схват вивільняє заготовку. Основна дія завершена.



**Рисунок 5.1.1. Схема багатопозиційного макромодуля\* (модулі №1 і №2) з гідроциліндром двосторонньої дії (а) і електрорелейна схема керування сигналами датчиків позицій ХБ і ХА (модулі 3 і 4) і формування сигналу**



За наступним набуттям одиничного значення сигналом команди маніпулятор повертається за наступним примірником заготовки.

По змісту дій привод маніпулятора (рис.5.1.1) схожий на привод реверсивного транспортера (рис. 4.3.1.), який подає та прибирає заготовки. Якщо в системі з транспортером розглянуто всього дві позиції зупинки (завантаження та відвантаження), то у маніпулятора позицій зупинки не менше трьох (ХА, ХБ і ХВ), а може бути і значно більше.

Перший модуль забезпечує рух (основна дія) до вхідної позиції (ХА) з будь якої іншої (ХБ або ХВ) та зупинку (зворотна дія).

Другий модуль забезпечує рух до певного лотку (основна дія) і зупинку біля увімкненого на лотку датчика (зворотна дія, датчик ХБ або ХВ).

Третій модуль задає позицію відвантаження ХБ шляхом вмикання датчика ХБ. Якщо датчик ХБ увімкнено, то порівнявшись з ХБ привод припиняє рух.

Четвертий модуль задає позицію відвантаження ХВ шляхом вмикання датчика ХВ. Якщо датчик ХВ увімкнено, то порівнявшись з ХВ привод припиняє рух.

Для визначення потрібного для відвантаження лотка необхідно увімкнути відповідний датчик, а інший датчик вимкнути.

По аналогії з реверсивним транспортером, для керування рухом вперед/назад та зупинкою використано один клапан 4/3 з перекритим центром.

Для керування кожним датчиком лотка побудована електрорелейна схема елемента пам'яті: елемент пам'яті увімкнено – працює датчик контролю позиції, елемент пам'яті вимкнено - датчик не працює і маніпулятор без затримок пройде повз позицію датчика та відповідного лотка.

Структура такого складного модуля потребує строгої координації окремих дій, в даному випадку - послідовного вмикання/вимикання модулів руху №1 і №2, та вмикання/вимикання модулів датчиків лотків. Так само, як для реверсивного транспортера, для вмикання модуля руху вперед необхідно попередньо вимкнути модуль руху назад і навпаки стосовно руху назад.

---

*\* Макромодуль – комбінація декількох окремих модулів в одному пристрої, що виконує складну функцію*

*Примітка. Основна та зворотна дії модулів №1 і №2 мають наступний зміст: основна дія модуля №1 – рух до позиції завантаження (початкової позиції) тобто рух до отримання сигналу від датчика ХА. Зворотна дія – припинення руху в означеному напрямку.*

Система керування модуля №1 дозволяє: а) під'єднувати порожнини циліндру до тиску або зливної лінії, б) відсікати порожнини циліндра від ліній. Для керування руху до вихідної позиції використано праву та середню позиції трипозиційного моностабільного клапана 4/3 (сигнал основної команди: Y1 - рух вперед, сигнал зворотної команди - для моностабільного керування – відсутність сигналу основної команди N YN1 – припинення руху вперед). Сигнал контролю за виконанням основної команди – сигнал від датчика X1 = ХА. Сигнал контролю за виконанням зворотної команди ототожнено з

сигналом самої команди з доданим часом на зупинку приводу:  $XN1 = YN1 + \text{часова затримка } \Delta t$ .

Система керування модуля №2 (рух до позиції лотка ХБ або ХВ) дозволяє: а) під'єднувати порожнини циліндру до тиску або зливної лінії, б) відсікати порожнини циліндра від ліній. Для керування руху до лотків використано ліву та середню позиції трипозиційного моностабільного клапана 4/3 (сигнал основної команди:  $Y2$  - рух до лотка, сигнал зворотної команди – відсутність сигналу основної команди  $N Y2$  – припинення руху назад). Сигнал контролю виконання основної команди – сигнал від датчика ХБ або від датчика ХВ:  $X2 = ХБ + ХВ$ . Сигнал контролю зворотної команди ототожнено з сигналом самої команди з доданим часом на зупинку приводу:  $XN2 = N Y2 + \text{часова затримка } \Delta t$ .

Система керування датчиками лотків (ХБ та ХВ) – модулі №3 і №4 дозволяє: а) під'єднувати датчик до роботи у складі системи, б) вилучати датчик від роботи. Для керування датчиком використана схема елемента пам'яті. Працюючий елемент пам'яті під'єднує вихід датчика до системи. Вимкнений елемент пам'яті від'єднує вихід датчика від системи. Сигнал основної команди модулів №3 і №4 –  $Y3$  і  $Y4$  - вмикання елементів пам'яті. Сигнали зворотної команди для елементів пам'яті -  $YN3$  і  $YN4$ . Контроль за відпрацюванням модулів №3 і №4 здійснено так само, як і для звичайних елементів пам'яті.

Забезпечення зупинки біля певної позиції (ХА, ХБ і ХВ) здійснено так само, як і для реверсивного транспортера.

Пересування вантажу справа наліво система виконує за сигналом команди модуля №1 з додатковою умовою:  $Y1 \text{ AND } N X1$ . Інверсія сигналу ( $N X1$ ) забезпечує припинення руху в позиції отримання сигналу  $X1=1$ , тобто ХА.

Пересування вантажу зліва на право система виконує за сигналом команди модуля №2 з додатковою умовою:  $Y2 \text{ AND } N X2$ . Інверсія сигналу ( $N X2$ ) забезпечує припинення руху в позиції отримання сигналу  $X2=1$ . Оскільки  $X2 = ХБ + ХВ$ , то зупинка здійснена біля під'єданого в поточний момент до системи датчика і відповідного лотка (ХБ або ХВ). Моностабільний клапан займає середню позицію, порожнини циліндру замкнені і рух припинено.

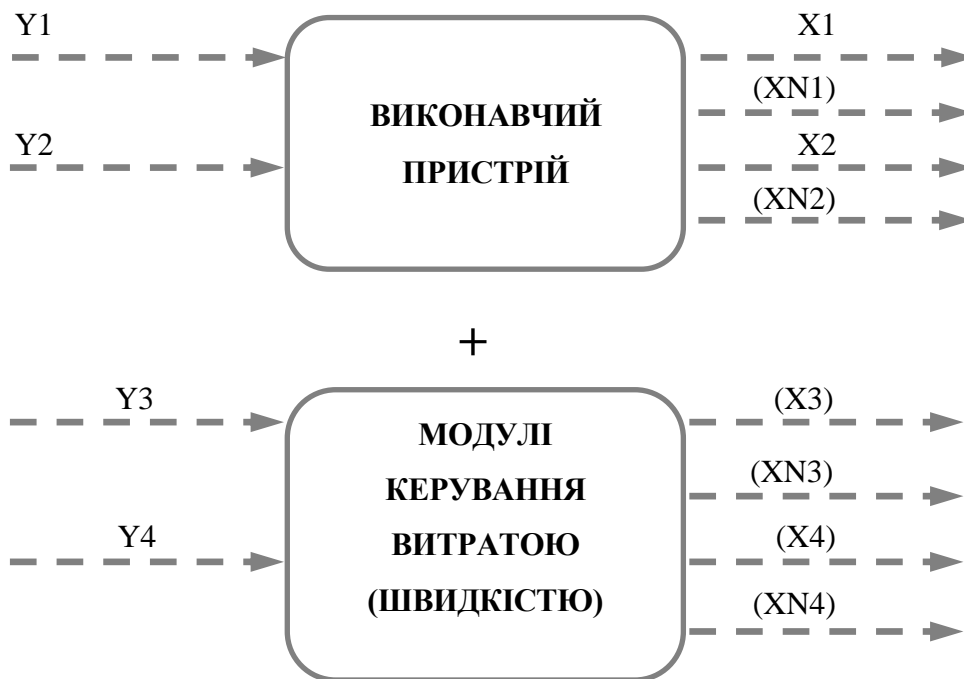
*Примітка. За такою схемою може бути забезпечена різна кількість позицій зупинки приводу, при цьому деякі з них можуть бути активними при обох напрямках руху. З цієї причини ідентифікацію датчиків позицій зручніше не пов'язувати з номерами модулів системи.*

Питання для самоперевірки:

1. Які гідравлічні пристрої використано в схемі модуля (рис. 5.1.1), назва, тип і призначення?
2. Чи може бути позиція ХБ використана, як початкова?
3. Скільки і яких клапанів 4/2 потрібно, що побудувати такий саме модуль?
4. Скільки сигналів керування і скільки сигналів контролю задіяно в макромодулі гідравлічного маніпулятора?

## П Р И К Л А Д № 8

### 5.2. МОДУЛЬ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ З ПЕРЕМИКАННЯМ ШВИДКОСТІ РУХУ



**ПРИЗНАЧЕННЯ:** лінійне переміщення вихідної ланки з різними фіксованими значеннями швидкості, наприклад, інструмента металообробного верстату.

|               |           |  |
|---------------|-----------|--|
| <b>СКЛАД:</b> | Керування | : клапан 4/3 моностабільний (зміна напрямку, зупинка).             |
|               |           | : клапан 3/2 вмикання/вимикання регулятора витрати – 2 шт. (1 шт.) |
|               | Виконання | : циліндр двосторонньої дії.                                       |
|               |           | : регулятор витрати (налаштування швидкості) 2 шт.                 |
|               |           | : зворотній клапан – байпасна лінія.                               |
|               | Контроль  | : датчики положення чи сенсори – 3 (...n) шт.                      |
|               |           | : модулі керування датчиками – 3 (...n) шт.                        |

Для забезпечення руху вихідної ланки з різними значеннями швидкості використовують гідравлічні приводи з дискретним перемиканням витрати (рис. 5.2.1) [1,29,35,39]. Привод може виконувати один і той же діапазон руху з різними значеннями швидкості, проходити різні частини одного інтервалу руху з різними швидкостями, виконувати інші комбінації зміни координати, напрямку руху і швидкості.

Наприклад, привод повздовжньої подачі шліфувального верстату забезпечує швидкий підвід інструменту з початкового положення А до координати початку обробки Б. Після підводу здійснюється робоча подача с певною технологічною швидкістю до координати В. Після завершення технологічної операції (координата В), за умови відповідної команди, привод пересувається до початкового положення з координатою А.

За впорядкуванням виконуваних дій такий привод подібний до гідроприводу багатопозиційного маніпулятора (знайдіть аналогічний приклад). Але, при проходженні проміжного датчику рух не припиняється, а вмикається пристрій, який задає потрібне значення швидкості (регулятор витрати). Кількість рівнів швидкості і координати їх вмикання/вимикання визначає автоматизована технологія.

Для багато-швидкісного приводу, так само, як і для багатопозиційного, не існує єдиного на всі випадки формального опису. Обов'язковою вимогою до опису є коректність та повнота, на такому рівні, який дозволить додавати його в систему автоматизованого об'єкта як його формальну складову.

Наприклад, перший модуль забезпечує рух зліва на право і припинення цього руху. Другий модуль забезпечує рух справа на ліво і припинення цього руху. Третій модуль вмикає/вимикає технологічну швидкість. В початковому стані технологічна швидкість вимкнена. Вздовж координати руху встановлено 3 датчики: А – початкова позиція, Б – позиція початку технологічного руху, В – позиція завершення технологічного руху.

Особливість багатокоординатних, багатошвидкісних, або – багато-параметричних виконавчих пристроїв, полягає в тому, що технічні засоби контролю за відпрацюванням дій не співпадають з логічними засобами контролю тих самих дій. Розподілення роботи системи на дії також не є однозначним.

Для даного прикладу можуть бути задіяні 4 модулі (рис. 5.2.1). В початковий момент вмикаємо рух вперед (Y1) і вмикаємо швидкість підводу інструмента (Y3). При отриманні сигналу від датчика ХБ модуль налаштування швидкості підводу відпрацював і його потрібно вимкнути (YN3). Одночасно вмикаємо швидкість технологічного руху – (Y4). При отриманні сигналу від датчика ХВ модуль технологічної швидкості відпрацював і його вимикаємо (YN4). Рух вперед завершено, вимикаємо його (YN1) та вмикаємо рух повернення у початкову позицію (Y2). Отримання сигналу від датчика ХА засвідчує, що привод повернувся у початкову позицію, тобто рух повернення вимикаємо (YN2). Технологічний цикл роботи 4-х модулів виконано.

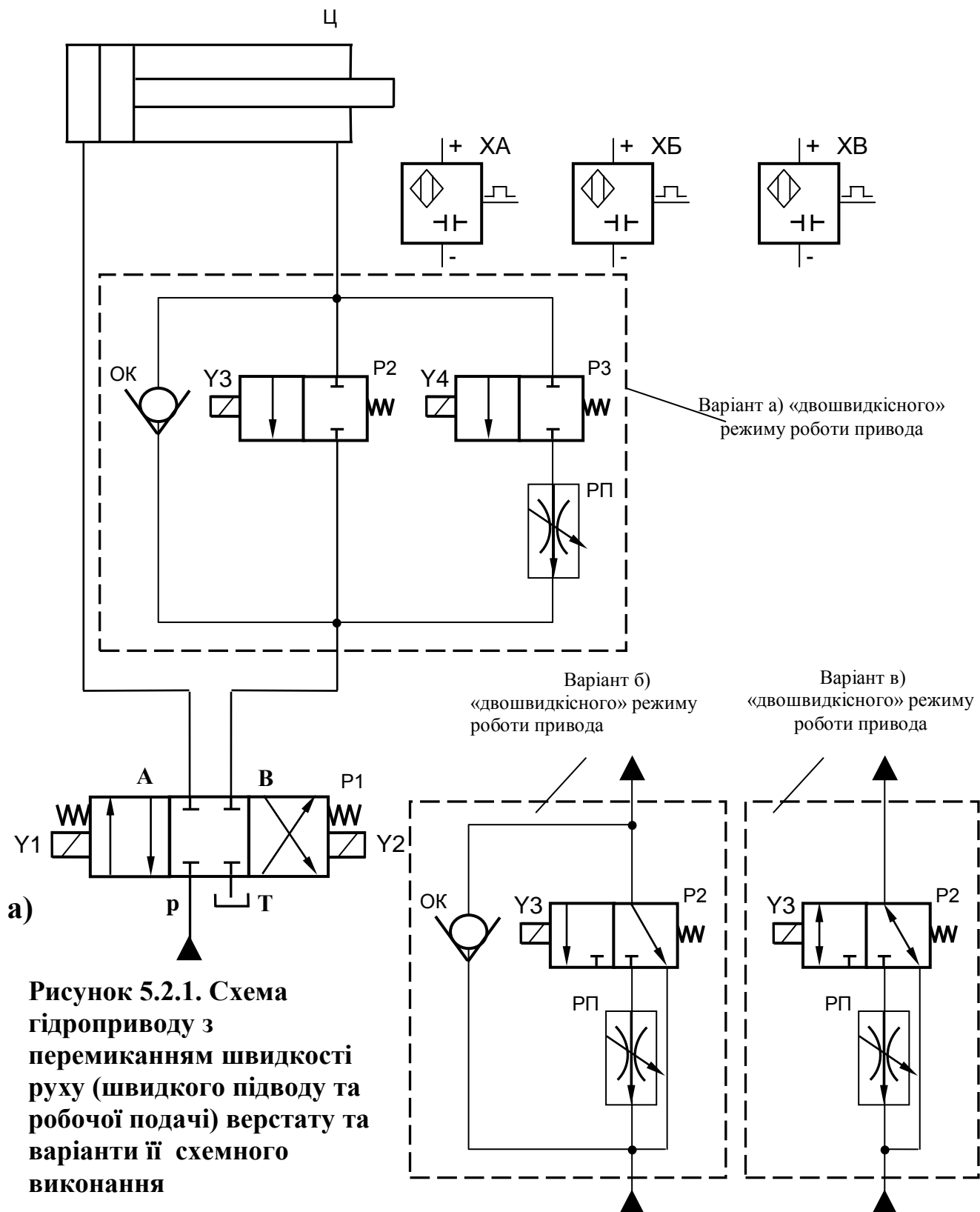
Формальний опис засобів контролю і керування може мати декілька варіантів. Наприклад, в системі з 4-х модулів, для кожного з них можуть бути задіяні дві команди:

Y1 і YN1;      Y2 і YN2;      Y3 і YN3;      Y4 і YN4

(На випадок використання моностабільних пристроїв, за основною командою пристрій вмикаємо, а за зворотною – вимикаємо той самий пристрій).

Контроль за відпрацюванням дій (один з варіантів).

Якщо подано сигнал керування  $Y1$ , то вважаємо, що рух вперед увімкнено. Тобто сигнал контролю за вмиканням руху ототожнюємо з сигналом команди:  $X1 = Y1 + \Delta t$  – часова затримка.



Якщо подано сигнал  $YN1$ , то вважаємо, що рух вперед вимкнено. Тобто сигнал контролю за вимиканням руху ототожнюємо з сигналом команди:  $XN1 =$

$YN1 + \Delta t$  – часова затримка.

Якщо подано сигнал керування  $Y2$ , то вважаємо, що рух назад увімкнено. Тобто сигнал контролю за вмиканням руху ототожнюємо з сигналом команди:  $X2 = Y2 + \Delta t$  – часова затримка.

Якщо подано сигнал  $YN2$ , то вважаємо, що рух назад вимкнено. Тобто сигнал контролю за вимиканням руху ототожнюємо з сигналом команди:  $XN2 = YN2 + \Delta t$  – часова затримка.

Якщо подано сигнал керування  $Y3$ , то визначимо зміст дії так: виконати рух вперед з 1-ю швидкістю. Сигнал контролю за відпрацюванням саме такої дії з 1-ю швидкістю:  $X3 = XB * X1$  (отримано сигнал  $XB$  при русі вперед).

Якщо подано сигнал  $YN3$ , можна вважати, що вимкнено задавач 1-го рівня швидкості. Сигнал контролю за відпрацюванням команди:  $XN3 = YN3 + \Delta t$  – часова затримка.

Якщо подано сигнал керування  $Y4$ , то визначимо зміст дії так: виконати рух вперед з 2-ю швидкістю. Сигнал контролю за відпрацюванням саме такої дії з 2-ю швидкістю:  $X4 = XB * X1$  (отримано сигнал  $XB$  при русі вперед).

Якщо подано сигнал  $YN4$ , можна вважати, що вимкнено задавач 2-го рівня швидкості. Сигнал контролю за відпрацюванням команди:  $XN4 = YN4 + \Delta t$  – часова затримка.

Якщо процедура оформлення перелічених дій завершена, а їх зв'язки оформлено, то замість утвореної системи, для подальшої роботи можна використовувати її модульне зображення – макромодуль. Основна дія макромодуля: підвід інструмента та робоча подача; зворотна дія макромодуля: повернення у вихідний стан.

Для створення формального опису макромодуля використовуємо послідовність дій його складових. З використанням раніш прийнятих позначень основна дія приводу верстата має вигляд наступної послідовності дій:

$$YM = Y1, Y3 \rightarrow YN3, Y4 \rightarrow YN1 \rightarrow YN4.$$

Сигнал контролю щодо відпрацювання основної дії матиме вигляд:

$$XM = XN1.$$

Зворотну дію макромодуля складають дві дії:

$$YNM = Y2 \rightarrow YN2.$$

Сигнал контролю щодо відпрацювання зворотної дії матиме вигляд:

$$XNM = XN2.$$

Логічні вирази внутрішніх команд макромодуля складають за правилами логічного синтезу систем 1 – 3-го класів (5-й модуль – додатковий елемент пам'яті):

|                              |                    |
|------------------------------|--------------------|
| $Y1 = YM * XN2 * XN5;$       | $YN1 = XN3 * XN4;$ |
| $Y2 = YNM * XN4 * XN1 * X5;$ | $YN2 = XN5;$       |
| $Y3 = YM * XN2 * XN5;$       | $YN3 = X5;$        |
| $Y4 = X5 * X1;$              | $YN4 = XN1;$       |
| $Y5 = X1 * X3;$              | $YN5 = X2.$        |

*Примітка.* За аналогічним принципом може бути побудовано макромодуль і іншою кількістю значень швидкості. Якщо значень швидкості

тільки 2, то в макромодулі достатньо одного внутрішнього модуля для вмикання 2-ї швидкості, а перша швидкість забезпечена налаштуванням, що діє за умов вимкненої першої швидкості.

*Примітка.* Аналогічним чином може бути побудованим макромодуль з дискретною зміною іншого параметру, наприклад тиску – для модуля пресу.

Завдання для самостійної роботи.

По даним таблиці 5.2.1 розрахувати швидкість руху вихідної ланки на всіх ділянках. Побудувати циклограму дії приводу верстату в координатах переміщення - час.

Вихідні дані для розрахунку

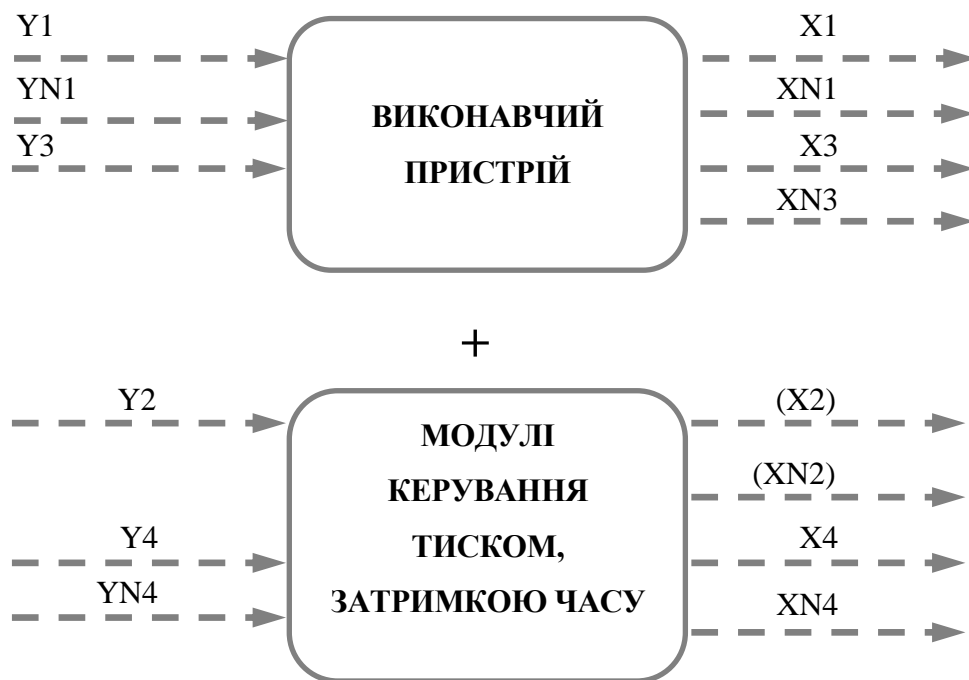
Таблиця 5.2.1

|  |  |      |     |      |     |
|--|--|------|-----|------|-----|
| Номинальний тиск, МПа                              | 6  | 4    | 3,2 | 4,8  | 3,6 |
| Технологічне навантаження робочої подачі           | 60% від максимального при номінальному тиску |      |     |      |     |
| Налаштування регулятора витрати, % від номінальної | 60   | 50   | 70  | 60   | 75  |
| Номінальна витрата, л/хв                           | 15   | 20   | 15  | 18   | 12  |
| Хід повний, мм                                     | 1000   | 1400 | 800 | 1100 | 500 |
| Перша ланка (між ХА і ХБ), мм                      | 300  | 200  | 200 | 250  | 100 |
| Діаметр штока, мм                                  | 30   | 40   | 40  | 50   | 50  |
| Діаметр поршня, мм                                 | 60   | 100  | 100 | 120  | 120 |

Питання для самоперевірки:

1. Які параметри впливають на швидкість руху штоку?
2. Що необхідно змінити в схемі для обмеження швидкості зворотного ходу?
3. Чому у варіанті в) відсутній зворотній клапан?
4. Які гідравлічні пристрої використано в схемі (рис. 5.2.1), назва, тип, функція?
5. Які дані таблиці 5.2.1 є зайвими для поставленої задачі?

**ПРИКЛАД №9**  
**5.3. МОДУЛЬ ПНЕВМАТИЧНОГО ПРИВОДУ ПРЕСУ З ДВОМА РІВНЯМИ ТИСКУ (МАКРОМОДУЛЬ)**



**ПРИЗНАЧЕННЯ:** лінійне переміщення вихідної ланки з різними фіксованими значеннями тиску, наприклад, привод з підводом пуансона та тиском пресування.

**СКЛАД:**

|           |  |
|-----------|--|
| Керування | : клапан 4/2 бістабільний (зміна напрямку).<br>: клапан 3/2 моностабільний вмикання/вимикання редуційного клапану – 1 шт.<br>: клапан 3/2 моностабільний (керування циліндром відвантаження) – 1 шт. |
| Виконання | : циліндр двосторонньої дії.<br>: циліндр односторонньої дії.<br>: редуційний клапан (налаштування тиску) – 1 шт.<br>: реле часу – 1 шт.   |
| Контроль  | : датчики положення чи сенсори – 4 (...n) шт.<br>: датчик тиску – 1 шт.<br>: модуль керування реле часу – 1 шт.  |

За структурою цей макромодуль схожий на дискретне перемикання швидкості [1,23,39]. Макромодуль пресу (рис. 5.3.1) фактично об'єднує два виконавчих пристрої на базі циліндрів та пристрої налаштування параметрів дії, тобто утворює внутрішню систему, що складається:

1. Прес пневматичний (циліндр двосторонньої дії + 4/2 клапан + редуційний клапан + 3/2 клапан + 2 датчики позицій + реле тиску + реле



часу);

2. Пристрій відвантаження (циліндр односторонньої дії + 3/2 клапан + + 2 датчики позицій).

Для ущільнення паперових відходів з невеликими, але суттєво різними необхідними зусиллями, використовують пневматичні приводи з дискретною зміною зусилля пресування.

За сигналом S1 привод виконує попереднє ущільнення з початковим рівнем зусилля (тиск P1) до зменшення об'єму відходів до певного значення (контролює датчик положення B1).

Після відпрацювання першої дії процесу пресування збільшується зусилля – встановлюється тиск налаштування P2. Процес пресування триває і, по мірі ущільнення відходів, тиск в порожнині циліндру наближається до P2.

Після отримання значення тиску P2 (спрацьовує реле тиску) здійснюється витримка часу для остаточного ущільнення відходів (працює реле часу T1).

Після завершення процесу пресування привод преса повертається у початковий стан (датчик A1), після чого привод відвантаження виштовхує сформований брикет паперових відходів з камери пресування (спрацьовує датчик B2) та повертається у початкове положення (контроль за датчиком B1) до наступного циклу пресування.

Початок пресування, у випадку ручного керування, задає сигнал від кнопки S1.

По опису дій наведений приклад близький за структурою до приводу з дискретним перемиканням швидкості. При проході циліндром преса повз датчик положення B1 рух не припиняється, а перемикається пристрій, що регулює рівень тиску (редукційний клапан). Кількість рівнів тиску та умови їх перемикання визначає застосована технологія.

Для приводу преса, так само, як для багато швидкісного приводу, не існує одного формального опису, але вимоги до нього залишаються ті ж самі: коректність та повнота.

#### Приклад будови формального опису.

Перший модуль забезпечує рух пресування та повернення у початковий стан.

Третій модуль забезпечує рух відвантаження та повернення відвантажувача.

Другий модуль вмикає/вимикає додатковий (понижений) рівень тиску.

Четвертий модуль задає витримку часу остаточного пресування.

На початку роботи встановлено понижений рівень тиску, який має бути змінений після першого етапу пресування. Контроль переміщення пресу забезпечено двома датчиками A1 – в початковій позиції, A2 – в позиції зміни рівня тиску. Відпрацювання процесу пресування контролює реле тиску A3, налаштоване на значення P2. Витримку часу остаточного пресування задає реле часу T1. По ходу циліндру відвантажувача встановлено два датчики B1 – в початковій позиції, B2 – в кінцевій позиції - відвантаження.

Робота макромодуля починається з сигналу оператора S1. Після цього відбувається вмикання руху пресування (сигнал керування Y1), з одночасним вмиканням пониженого тиску (команда Y2). При отриманні сигналу датчика A2

модуль пониженого тиску відпрацював і його вимикаємо (відміна команди Y2).

Далі вмикаємо витримку часу остаточного пресування (команда Y4 – реле часу). При отриманні сигналу щодо рівня тиску P2 (реле тиску A3) та спрацюванні реле часу T1 модуль пресування відпрацював і циліндр пресу повертається в початковий стан (команда YN1).

Після переходу в початкову позицію (датчик A1) здійснюємо відвантаження брикету (команда Y3) до спрацювання датчика B2, після чого повертаємо циліндр відвантаження в початковий стан (вимкнути Y3) до отримання сигналу B1. Після вимикання модуля затримки часу (YN4) цикл завершено.

Варіант формального опису засобів контролю і керування макромодуля пресу. В системі є 4 функціональних модулі, чому у загальному випадку відповідають 8 команд керування:

Y1 і YN1;      Y2 і YN2;      Y3 і YN3;      Y4 і YN4

В залежності від типу керування, деякі з них можуть бути відсутні (YN2 і YN3). Контроль за відпрацюванням дій.

Основна дія модуля №1 сигнал керування Y1 (рух пресування).

Сигнал контролю за відпрацюванням команди:  $X1 = A3 * XT1$ .

Зворотна дія модуля №1 сигнал керування YN1 (повернення).

Сигнал контролю за відпрацюванням:  $XN1 = A1$ .

Основна дія модуля №2 сигнал керування Y2, можна вважати, що редукційний клапан виключено з лінії живлення пресу.

Сигнал контролю за відпрацюванням:  $X2 = Y2 + \Delta t$  затримка часу.

Зворотна дія модуля №2 сигнал керування YN2, можна вважати, що редукційний клапан підключено у лінію живлення.

Сигнал контролю за відпрацюванням:  $XN2 = YN2 + \Delta t$  затримка часу.

Основна дія модуля №3 сигнал керування Y3 (відвантаження брикету).

Сигнал контролю за відпрацюванням:  $X3 = B2$ .

Зворотна дія модуля №3 сигнал керування вимкнути Y2 (повернення)

Сигнал контролю за відпрацюванням:  $XN3 = B1$ .

Основна дія модуля №4 сигнал керування Y4, зміст дії: почати відлік часу пресування.

Сигнал контролю за відпрацюванням: вибіг часу:  $X4 = XT1$ .

Зворотна дія модуля №4 сигнал керування YN4, можна вважати, що реле часу вимкнено.

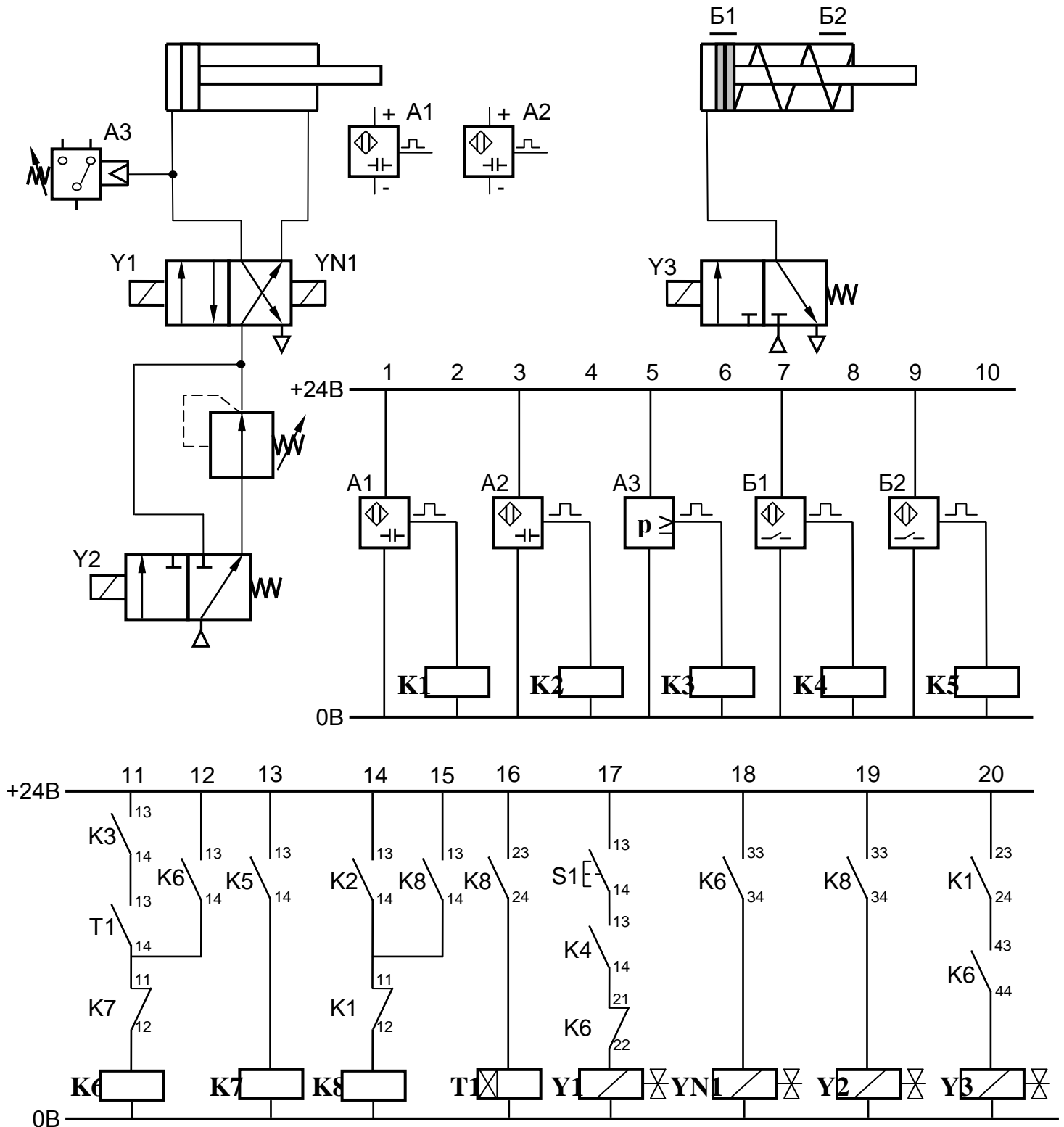
Сигнал контролю за відпрацюванням:  $XN4 = YN4$ .

Перехід від системи 4-х модулів до одного макромодуля

Робота пневматичного приводу преса може бути подана у вигляді відпрацювання модулем двох дій: основна дія – початкове та остаточне пресування + відвід пуансона + відвантаження брикету; зворотна дія – перехід привода відвантаження в початковий стан.

Основна дія макромодуля преса ( з використанням наведених позначень) має вигляд наступної послідовності дій:

$YM = Y1, Y3 \rightarrow YN3, Y4 \rightarrow YN1 \rightarrow Y2.$



**Рисунок 5.3.1. Схема макромодуля пневматичного пресу з двома рівнями зусилля пресування, пристроєм відвантаження та витримкою часу остаточного пресування з контролем тиску**

Сигнал контролю основної дії має вигляд:  $XM = X2.$

Зворотна дія макромодуля преса складають дві дії:

$$Y_{NM} = \rightarrow Y_{N2} \rightarrow Y_{N4}.$$

Сигнал контролю зворотної дії має вигляд:  $X_{NM} = X_{N4}$ .

Логічні умови взаємозв'язку складових дій макромодуля визначаємо за правилами логічного синтезу систем 1-3-го класів (5-й модуль – додатковий елемент пам'яті):

$$Y_1 = Y_M * X_{N4};$$

$$Y_{N1} = X_{N3} * X_4;$$

$$Y_2 = X_{N1} * X_5;$$

$$Y_{N2} = X_{NM} * X_{N5};$$

$$Y_3 = Y_M * X_{N4} * X_{N5};$$

$$Y_{N3} = X_5;$$

$$Y_4 = X_5;$$

$$Y_{N4} = X_{N2} * X_{N5};$$

$$Y_5 = X_1 * X_3;$$

$$Y_{N5} = X_2.$$

*Примітка. Розподіл циклу дії макромодуля на «основну» дію і «зворотну» дію може спиратись на вироблення продукції: коли продукція макромодуля стає доступною для оточення макромодуля – вважаємо, що основна дія відпрацьована. Залишок невиконаних за циклом дій відносимо до зворотної дії макромодуля.*

*Примітка. При ототожненні сигналу команди і сигналу стану (наприклад, « $X_{N2} = Y_{N2}$  + затримка часу») фактично затримка часу може бути відсутня, якщо швидкодія пристрою дозволяє нею нехтувати (у порівнянні з часом відпрацювання інших дій). Наприклад, час перемикання електропневмоклапана може складати соті долі секунди – тоді затримка часу не має змістовного значення. Неконтрольований час зупинки гідромотора з великою рухомою масою бажано враховувати.*

Завдання для самостійної роботи.

По даним таблиці 5.3.1 розрахувати зусилля попереднього і остаточного пресування.

Вихідні дані для розрахунку

Таблиця 5.3.1

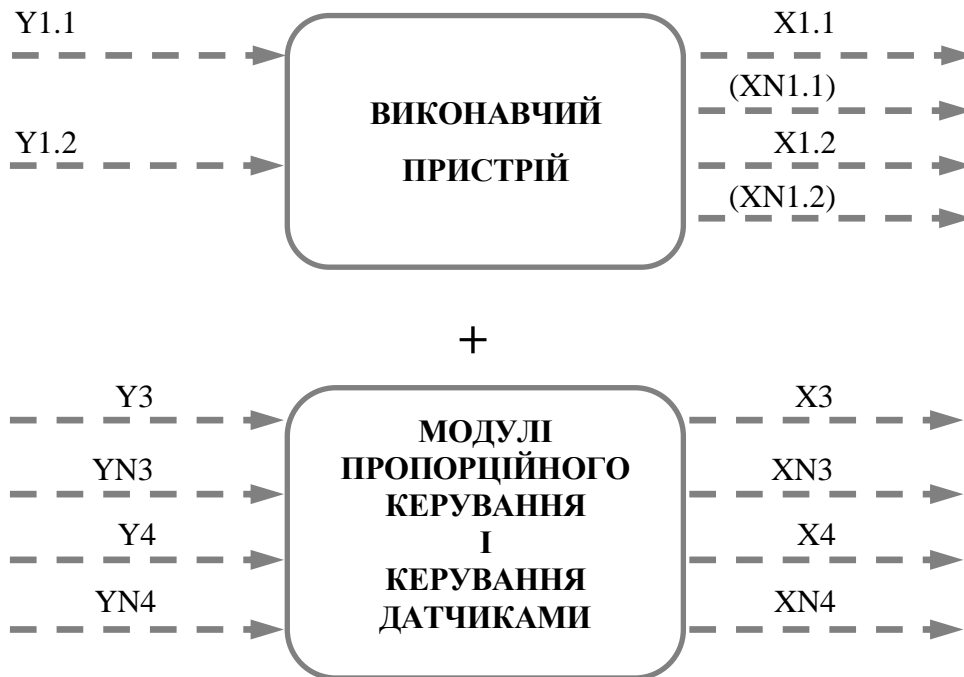
| Номінальний тиск,<br>МПа                                       | 6   | 6   | 6   | 8   | 10  |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| Налаштування<br>редукційного<br>клапану, % від<br>номінального | 30  | 40  | 50  | 60  | 80  |
| Діаметр штока, мм  | 30  | 40  | 40  | 50  | 50  |
| Діаметр поршня, мм   | 200 | 150 | 180 | 150 | 120 |

Питання для самоперевірки:

1. Які пневматичні пристрої використано в схемі модуля (рис. 5.3.1)?
2. Чи може датчик АЗ спрацювати на початку руху?
3. Чому кінцева позиція пресування неконтрольована?
4. Скільки сигналів керування і скільки сигналів контролю задіяно в макромодулі пневматичного пресу?

## ПРИКЛАД № 10

### 5.4. МОДУЛЬ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ З ПРОПОРЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ ШВИДКІСТЮ



**ПРИЗНАЧЕННЯ:** лінійне переміщення вихідної ланки з різними фіксованими значеннями швидкості, наприклад, інструмента металообробного верстату.

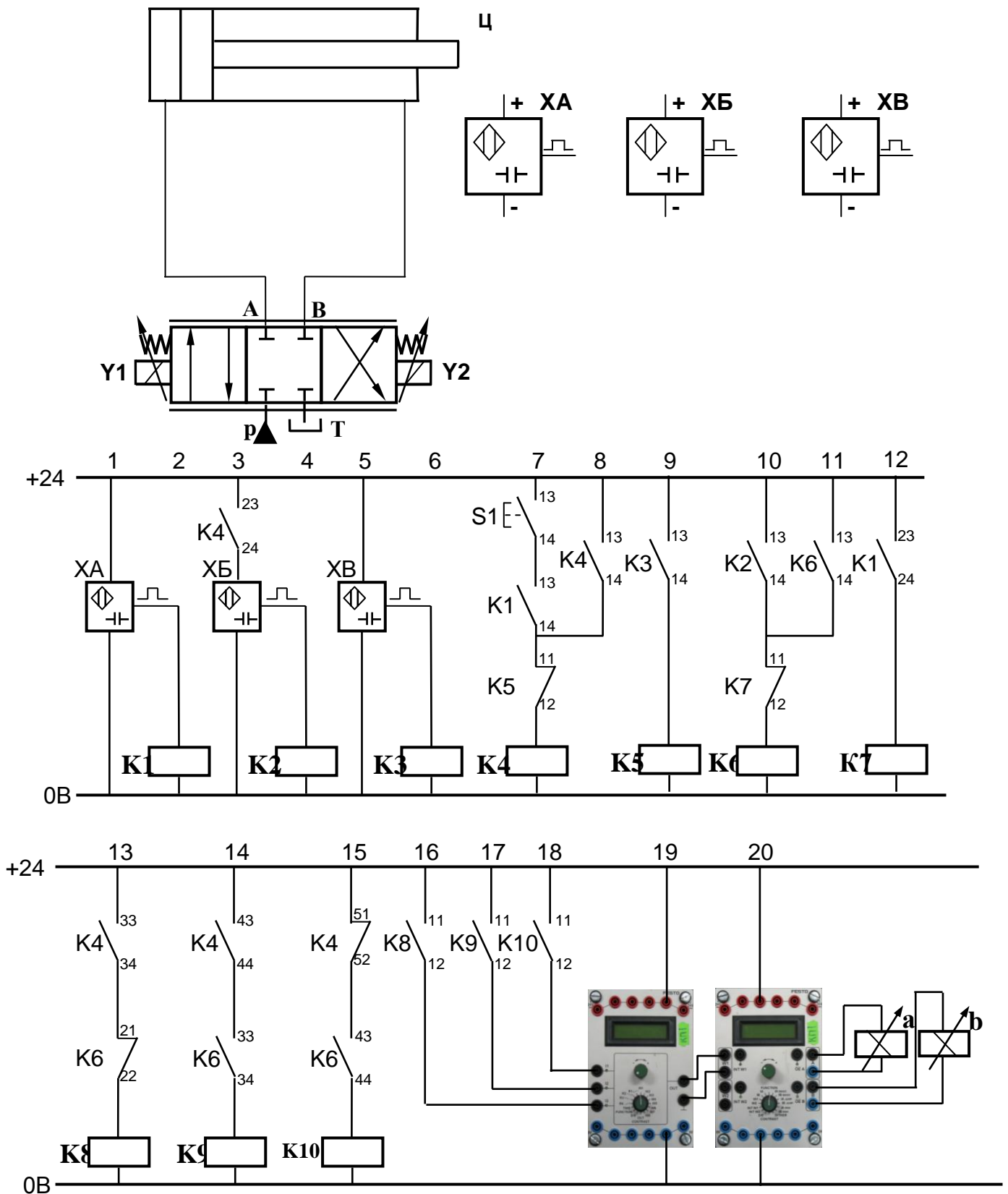
**МАКРОМОДУЛЬ** «привод з пропорційним керуванням швидкістю»

**СКЛАД:**

|           |   |
|-----------|---|
| Керування | : клапан 4/3 пропорційний (зміна напрямку, швидкості, зупинка). |
|           | : задатчик сигналів з дискретними входами.                      |
| Виконання | : циліндр двосторонньої дії.                                    |
| Контроль  | : датчики положення чи сенсори – 3 (...n) шт.                   |
|           | : модулі керування датчиками – 1 (...n) шт.                     |

Для забезпечення декількох рівнів швидкості руху вихідної ланки може бути застосований варіант дискретного перемикання витрати (знайдіть аналогічний прилад), а може бути використано пропорційне керування [8,24,25]. Останнє, завдяки регулюванню сили струму в обмотках електромагнітів, дозволяє не тільки переміщувати золотник, але і утримувати його в проміжних положеннях, тобто змінювати гідравлічний опір клапану. Саме це забезпечує зміну площі прохідного отвору та відповідну зміну витрати. Тобто, розподільник з пропорційним керуванням об'єднує дві функції – зміну напрямку руху рідини і зміну витрати (рис. 5.4.1).

Аналогічне рішення може бути побудовано за принципом дискретного перемикання тику, яке використано в модулі багато швидкісного гідроприводу.



**Рисунок 5.4.1. Схема макромодуля гідроприводу та системи керування з пропорційним клапаном і задатчиком струму з дискретними входами**

Застосування розподільника з пропорційним керуванням дозволяє зменшити кількість обладнання з одночасним збільшенням кількості рівнів

швидкості, і навіть завданням певної функції зміни швидкості у часі чи в функції координати вихідної ланки. Проте, застосування іншого, у порівнянні з дискретним, типу керування призводить до значного здороження і суттєвого ускладнення системи керування (додаткова електронна частина системи керування, захист від електромагнітних хвиль, підвищені вимоги до чистоти рідини та діапазону температур).

Зміну швидкості руху вихідної ланки забезпечує зміна значення струму керуючого сигналу, що надходить до електромагнітів клапану. Таке керування може бути забезпечено декількома способами. Наприклад, за допомогою алгоритму керування аналоговими виходами контролера, або формуванням циклограми зміни сигналів на підсилювачі. Ще один варіант – це зміна рівня сигналу за рахунок керування дискретними входами задатчика.

Використання розподільника з пропорційним керуванням і задатчика з дискретними входами для керування швидкістю може бути застосовано в гідроприводі повздовжньої подачі шліфувального верстату. Кожний рівень струму, що надходить до електромагніту, відповідає певному вхідному сигналу на дискретних входах задатчика (табл. 5.4.1).

Циклограма сигналів дискретних входів

Таблиця 5.4.1

| Режим швидкості    | 1     | 2     | 3       | 4     | 5       |
|--------------------|-------|-------|---------|-------|---------|
| Напрямок руху      | →     | →     | Зупинка | ←     | Зупинка |
| Дискретний вхід, № | 1     | 2     | -       | 3     | -       |
| Струм керування    | 700mA | 350mA | 0       | 800mA | 0       |

Структура макромодуля (системи) складається з чотирьох модулів.

Перший модуль забезпечує швидкий підвід з швидкістю  $V_{шп}$ , рух відбувається в напрямку вперед від датчика ХА до датчика ХБ.

Другий модуль забезпечує робочу подачу зі швидкістю  $V_{рп}$  при русі вперед від датчика ХБ до датчика ХВ.

Третій модуль забезпечує повернення приводу у початкове положення зі швидкістю  $V_{пп}$ .

Четвертий модуль під'єднує/від'єднує датчик ХБ.

За такою структурою система макромодуля налічує 4 модуля з двома командами керування (вмикання/вимикання) для кожного:

Y1.1 і YN1.1; Y1.2 і YN1.2; Y2 і YN2; Y3 і YN3

Формальний опис процесу роботи макромодуля.

В початковому стані вихідна ланка нерухома і знаходиться в позиції датчика А. Клапан обіймає середнє положення, витрата відсутня (рис. 5.4.1).

Перший крок – вмикання сигналу керування Y1.1, що призводить до подачі на магніт струму із значенням  $K_1$ , і одночасне надання живлення до датчика ХБ (сигнал керування Y3). Після цього відбувається рух вихідної ланки від датчика ХА до датчика ХБ зі швидкістю  $V_{шп}$ .

Другий крок – при отриманні сигналу від датчика ХБ вимикаємо модуль 1.1 – (вимикаємо швидкість підводу, сигнал керування  $YN1.1$ ), та задаємо швидкість робочої подачі  $V_{rp}$  (вимикаємо модуль 1.2 – сигнал керування  $Y1.2$ , значення струму змінюється на  $K2$ ).

Третій крок – при отриманні сигналу від датчика ХВ (прямий хід відпрацьовано) вимикаємо модуль 1.2, сигнал керування  $YN1.2$ . Одночасно вимикаємо 3-й модуль (сигнал  $YN3$ ), тим самим прибираємо живлення від датчика ХБ (для запобігання хибного спрацювання під час повернення приводу в початковий стан).

Четвертий крок – повертаємо привод у початковий стан (сигнал керування  $Y2$ , рівень струму  $K3$ ).

П'ятий крок – при отриманні сигналу від датчика ХА рух повернення відпрацьовано – вимикаємо модуль 2 за допомогою сигналу керування  $YN2$ . Цикл завершено.

Контроль відпрацювання дій (можливий варіант).

Подано сигнал керування  $Y1.1$ , вважаємо, що увімкнено рух вперед з першим значенням швидкості. Сигнал контролю щодо відпрацювання цього руху приймаємо:  $X1.1 = XB$ .

Подано сигнал керування  $YN1.1$ , тобто має бути вимкнено рух з першим значенням швидкості при русі вперед. Сигнал контролю за відпрацюванням цієї дії запізнюється за сигналом керування на час перемикавання клапану, приймаємо:  $XN1.1 = YN1.1 + \Delta t$  – затримка у часі.

Подано сигнал керування  $Y1.2$ , здійснює рух вперед з другим значенням швидкості. Сигнал контролю за відпрацюванням цього руху приймаємо:  $X1.2 = XB$ .

Подано сигнал керування  $YN1.2$ , тобто має бути вимкнено рух з другим значенням швидкості при русі вперед. Сигнал контролю за відпрацюванням дії:  $XN1.2 = YN1.2 + \Delta t$  – затримка у часі.

Подано сигнал керування  $Y2$ , тобто має бути виконано рух повернення у початкову позицію. Сигнал контролю за відпрацюванням повернення:  $X2 = XA$ .

Подано сигнал керування  $YN2$ , тобто має бути вимкнено рух повернення. Сигнал контролю за відпрацюванням руху:  $XN2 = YN2 + \Delta t$  – затримка у часі (перемикавання клапану + зупинка рухомих мас).

Подано сигнал керування  $Y3$ , тобто підключено живлення до датчика ХБ. Сигнал контролю за відпрацюванням дії ототожнюємо з сигналом команди, нехтуючи часом перемикавання електрореле:  $X3 = Y3$ .

Подано сигнал керування  $YN3$ , тобто прибрано живлення від датчика ХБ. Сигнал контролю за відпрацюванням дії ототожнюємо з сигналом команди, нехтуючи часом перемикавання електрореле:  $XN3 = YN3$ .

#### **Перехід від системи 4-х модулів до макромодуля**

Спочатку роботу макромодуля зображуємо у вигляді послідовності дій (див. приклад №8) : основна дія – підвід інструмента та робоча подача; зворотна дія – перехід всіх компонентів в початковий стан.

З використанням вище застосованих умовних позначень основна дія



гідроприводу шліфувального верстату має вигляд наступної послідовності дій:

$$Y_M = Y_{1.1}, Y_3 \rightarrow Y_{N1.1}, Y_{1.2} \rightarrow Y_{N1.2}, Y_{N3}.$$

Сигнал контролю щодо відпрацювання основної дії має вигляд:

$$X_M = X_{N1.2} * X_{N3} * X_4.$$

Зворотну дію макромодуля складають дві дії:

$$Y_{NM} = Y_2 \rightarrow Y_{N2}.$$

Сигнал контролю щодо відпрацювання зворотної дії має вигляд:

$$X_{NM} = X_{N2} * X_{N4}.$$

Логічні умови щодо виконання інших дій у складі макромодуля отримуємо за правилами логічного синтезу систем 1 ... 3-го класів (4-й і 5-й модулі – додаткові елементи пам'яті):

|   |                           |
|---|---------------------------|
| $Y_{1.1} = X_5;$                          | $Y_{N1.1} = X_{N5};$      |
| $Y_{1.2} = X_{N5} * X_3 * X_{N4};$        | $Y_{N1.2} = X_4;$         |
| $Y_2 = Y_{NM} * X_{N1.2} * X_{N3} * X_4;$ | $Y_{N2} = X_{N4};$        |
| $Y_3 = X_5;$                              | $Y_{N3} = X_4;$           |
| $Y_4 = X_{N1.1} * X_{1.2};$               | $Y_{N4} = X_2;$           |
| $Y_5 = Y_M * X_{N2} * X_{N4} * X_{N3};$   | $Y_{N5} = X_{1.1} * X_3.$ |

*Примітка. За аналогічним принципом може бути побудовано макромодуль з іншою кількістю значень швидкості. Якщо в задатчику 2 дискретних входи, то їм відповідає 4 комбінації вхідних сигналів, тобто можна отримати чотири значення струму сигналів керування.*

#### Завдання для самостійної роботи

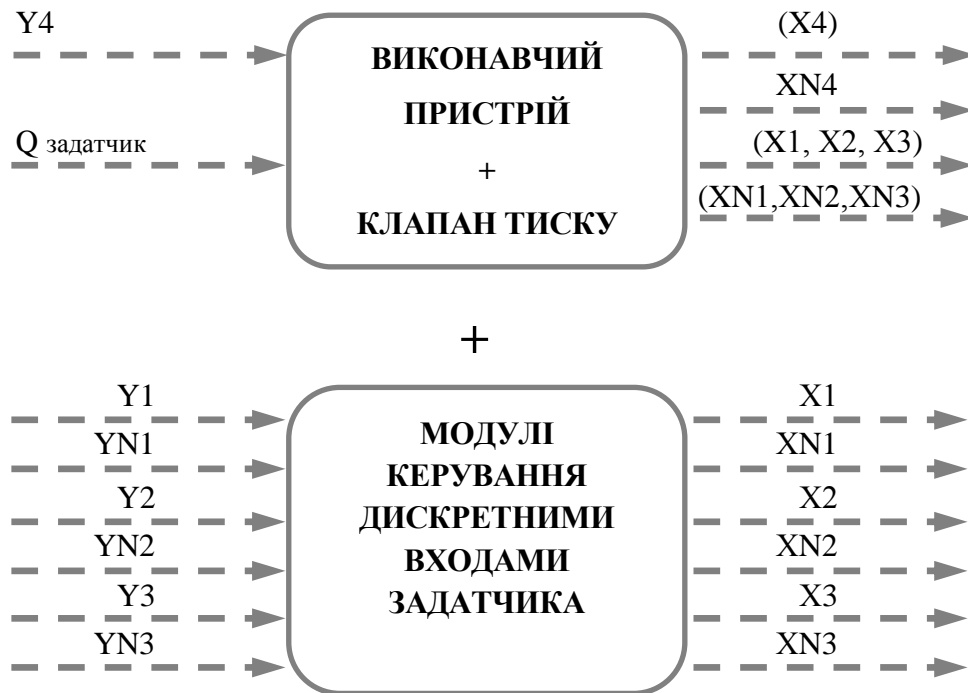
Розробити систему з дискретним перемиканням швидкості і побудувати на її основі макромодуль з 3-ма значеннями швидкості при прямому ході та двома значеннями швидкості при зворотному ході і 3-ма позиційними датчиками по ходу руху. Для завдання швидкості використати керування дискретними входами задатчика сигналів.

#### Питання для самоперевірки:

1. Скільки значень швидкості можна задати, якщо в задатчику 3 дискретних входи?
2. Чи будуть однакові значення швидкості основного і зворотного руху, якщо вони мають однакові значення струму живлення магнітів?
3. На скільки зменшиться кількість гідравлічних пристроїв при переході до пропорційного керування в системі з 5-ма значеннями швидкості?
4. Які додаткові вимоги необхідно врахувати при виборі електрорелейного дискретного керування швидкістю і пропорційного керування?

### Приклад № 1 1

#### МОДУЛЬ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ ПРЕСУ З ПРОПОРЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ ЗУСИЛЛЯМ



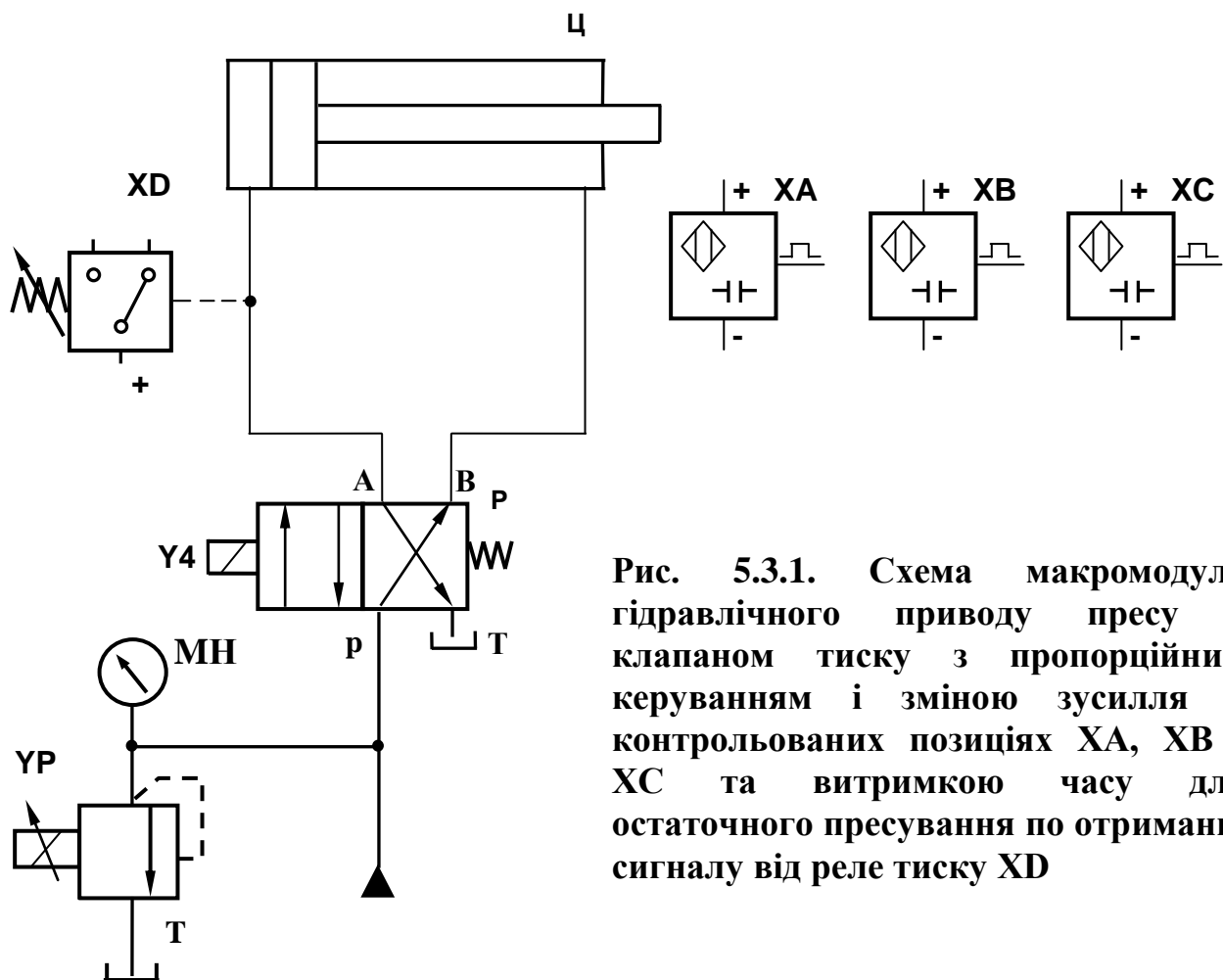
**ПРИЗНАЧЕННЯ:** лінійне переміщення вихідної ланки з декількома фіксованими значеннями зусилля, наприклад, привод з підводом пуансона та зусиллям пресування.

|               |           |   |
|---------------|-----------|---|
| <b>СКЛАД:</b> | Керування | клапан 4/2 моностабільний (зміна напрямку).   |
|               | Виконання | циліндр двосторонньої дії.<br>клапан тиску з пропорційним керуванням.   |
|               | Контроль  | датчики положення чи сенсори – 3 (...n) шт.<br>реле тиску – 1 шт.<br>модулі керування дискретними входами – 3 шт. |

При пресуванні металевих відходів, за відомою технологією, необхідно забезпечувати різні рівні зусилля. Для цього використовують гідропривод з керованим значенням тиску, що може бути забезпечено дискретним перемиканням або пропорційним керуванням [8,21,23,24,25]. При роботі привод забезпечує підвід пуансона до зони пресування (від датчика ХА до датчика ХВ при значенні тиску  $p_1$ , рис. 5.3.1), далі відбувається попереднє ущільнення відходів з номінальним зусиллям (під тиском  $p_2$  до позиції датчика

XC). Після цього тиск пресування набуває максимального значення (тиск пресування  $p_3$ ) і процес ущільнення триває до досягнення максимального зусилля з наступною часовою витримкою (реле тиску - сигнал XD, реле часу T1 налаштоване на час витримки під зусиллям). Після відпрацювання операції пресування привод повертає пуансон в початкову позицію (спрацьовує датчик ХА).

Вирішення цієї задачі може бути побудовано за принципом дискретного перемикавання тиску, яке використано в модулі пневматичного пресу (знайдіть аналогічний приклад). Застосування клапану тиску з пропорційним керуванням дозволяє зменшити кількість обладнання з одночасним збільшенням кількості рівнів зусилля, або завданням певної функції змін зусилля за часом чи в функції координати пуансона (рис. 5.3.1). Проте, застосування іншого, у порівнянні з дискретним, типу керування призводить до ускладнення системи керування (додаткова електронна частина системи керування, підвищені вимоги до чистоти рідини та її температури).



**Рис. 5.3.1. Схема макромодуля гідравлічного приводу пресу з клапаном тиску з пропорційним керуванням і зміною зусилля в контрольованих позиціях ХА, ХВ і ХС та витримкою часу для остаточного пресування по отриманні сигналу від реле тиску XD**

Забезпечення руху вихідної ланки з різними значеннями зусилля здійснюється за рахунок зміни тиску, а зміну тиску забезпечують різні рівні сигналу керування (струму) пропорційного магніту клапана тиску. Зміна

сигналу керування може бути виконана так само, як і в прикладі-аналогу з використанням задатчика з дискретними входами (див. табл. 5.3.1).

Циклограма сигналів дискретних входів

Таблиця 5.3.1

| Режим зусилля                     | P1    | P2    | P3    | P1    |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Напрямок руху                     | →     | →     | →     | ←     |
| Дискретний вхід, №                | 1     | 2     | 3     | 1     |
| Струм керування (Y <sub>P</sub> ) | 250mA | 600mA | 800mA | 250mA |

За описом роботи гідропривод пресу є аналогічним до пневмоприводу преса з дискретним перемиканням рівнів тиску. При русі пуансона повз датчик положення ХВ рух не припиняється, але здійснюється зміна рівня тиску (струм сигналу керування 600mA). Необхідна кількість рівнів тиску, їх значення та параметри, що викликають їх перемикання, визначають умови застосованої технології.

Система може бути складена з трьох модулів керування зусиллям (тиском) і модуля керування рухом.

Структура макромодуля (системи) складається з чотирьох модулів.

Перший модуль забезпечує мінімальний рівень тиску при підводі пуансона до позиції початку пресування (від датчика ХА до датчика ХВ), і при поверненні пуансона (до датчика ХА). Зусилля задає сигнал керування на дискретний вхід 1 (струм живлення 250mA).

Другий модуль забезпечує зусилля попереднього пресування при русі вперед (від датчика ХВ до датчика ХС). Зусилля задає сигнал керування на дискретний вхід 2 (струм живлення 600mA).

Третій модуль забезпечує номінальне зусилля пресування при русі вперед (від датчика ХС до спрацювання реле тиску ХD). Зусилля задає сигнал керування на дискретний вхід 3 (струм живлення 800mA).

Четвертий модуль керує напрямом руху пуансона від датчика ХА до спрацювання реле тиску ХD, та поверненням в початковий стан до датчика ХА.

За такою структурою система макромодуля налічує 4 модуля з двома командами керування (вмикання/вимикання) для кожного (3 модулі керування зусиллям (тиском), які керують клапаном тиску, і модуль керування рухом). Оскільки модулі керування зусиллям надають бінарні сигнали на задатчик, то їх реалізовано за допомогою елементів пам'яті. Кожному з цих модулів відповідає по дві команди керування. Для модуля руху, враховуючи моностабільний клапан 4/2, достатньо одного сигналу керування, але сигнал зворотної команди буде використано для опосередкованого контролю виконання дії:

тиск:

Y1 і YN1, Y2 і YN2, Y3 і YN3;

рух:

Y4 і YN4.

Опис процесу роботи макромодуля.

В початковому стані вихідна ланка нерухома і знаходиться в позиції датчика ХА, доки не буде подано зовнішній сигнал керування S1.

Перший крок - макромодуль починає роботу з вмикання руху вперед (сигнал керування  $Y4=1$ ) при мінімальному рівні зусилля (увімкнуто елемент пам'яті  $Y1$ , його вихідний сигнал  $X1$  подано на дискретний вхід 1). Відбувається рух пуансона від датчика  $XA$  до датчика  $XB$  з мінімальним зусиллям (струм живлення  $250mA$ ).

Другий крок – по отриманню сигналу від датчика  $XB$  вимикаємо перший рівень зусилля (елемент пам'яті:  $Y1=0$ ,  $YN1=1$ ) і одночасно вмикаємо другий рівень зусилля (елемент пам'яті:  $Y2=1$ ,  $YN2=0$ ), вихідний сигнал  $X2$  надходить на дискретний вхід 2 задатчика, що спричиняє зміну струму живлення магніту на  $600mA$ . Рух триває до датчика  $XC$ .

Третій крок - по отриманню сигналу від датчика  $XC$  здійснюється вимикання другого рівня зусилля (елемент пам'яті:  $Y2=0$ ,  $YN2=1$ ) і одночасно вмикаємо третій рівень зусилля (елемент пам'яті:  $Y3=1$ ,  $YN3=0$ ), вихідний сигнал  $X3$  надходить на дискретний вхід 3 задатчика, що спричиняє зміну струму живлення магніту на  $800mA$ . Рух триває до спрацювання реле тиску  $XD$ .

Четвертий крок – по отриманню сигналу від реле тиску  $XD$  вмикаємо витримку часу  $T1$ . Рух триває до спрацювання реле часу  $T1$ .

П'ятий крок - по отриманню сигналу від таймера  $T1$  (вичерпано час остаточного пресування) здійснюється вимикання третього рівня зусилля (елемент пам'яті:  $Y3=0$ ,  $YN3=1$ ), вмикаємо перший рівень зусилля (елемент пам'яті:  $Y1=1$ ,  $YN1=0$ ), його вихідний сигнал  $X1$  подано на дискретний вхід 1. Одночасно вмикаємо рух повернення (сигнал  $Y4=0$ ) від поточного положення до вихідного положення – до датчика  $XA$ , з мінімальним тиском (струм живлення  $250mA$ ).

Шостий крок - по отриманню сигналу від датчика  $XA$  здійснюється вимикання першого рівня зусилля (елемент пам'яті:  $Y1=0$ ,  $YN1=1$ ). Експлуатаційний цикл відпрацьовано.

Для наведеного варіанту гідроприводу преса, так само, як і для багатошвидкісного приводу, не існує однозначного формального опису системи макромодуля, але вимогами залишаються коректність і повнота опису.

В наведеному прикладі розглядатимемо гідроциліндр як реверсивний гідромотор поступової дії. Для нього є актуальними дві дії та дві команди щодо їх відпрацювання: рух вперед, рух повернення. Застосуємо опосередкований контроль до виконання вказаних команд: сигнали стану (здійснюється такий рух чи інший рух, чи рух відсутній) ототожнимо з сигналами команд:  $X4 = Y4$ ;  $XN4 = YN4$  (для моностабільного варіанту можливо  $XN4 = \neg Y4$ ). Якщо команда подана, то вважаємо, що вона виконана.

Вмикання та вимикання модулів зусилля здійснено за допомогою 3-х елементів пам'яті, які активізують дискретні входи задатчика сигналів до пропорційного магніту. В ланцюгах живлення дискретних входів встановлено відповідні ключі:  $I1 - X1$  (нормально розімкнутий),  $I2 - X2$  (нормально розімкнутий),  $I3 - X3$  (нормально розімкнутий). Контроль щодо відпрацювання пресування з різним зусиллям здійснюємо за датчиками завершення етапів



пресування, зворотна дія гідроприводу преса  $Y_{NM}$  – перехід в початковий стан. Відповідно до правил логічного синтезу розроблені послідовності дій потребують доповнення елементами пам'яті 5, 6 і 7 (для забезпечення логічної визначеності) (рис. 5.3.2).

Основна дія макромодуля:

$$Y_M = Y_1, Y_4 \rightarrow Y_5 \rightarrow Y_{N1}, Y_2 \rightarrow Y_6 \rightarrow Y_{N2}, Y_3 \rightarrow Y_7.$$

Сигнал контролю за відпрацюванням основної дії :  $X_M = X_7$ .

Зворотна дія макромодуля:

$$Y_{NM} = Y_{N3}, Y_{N4}, Y_1 \rightarrow Y_{N5} \rightarrow Y_{N1} \rightarrow Y_{N6} \rightarrow Y_{N7}.$$

Сигнал контролю відпрацювання зворотної дії  $X_{NM} = X_{N7}$ .

*Примітка.* Розподіл циклу дії макромодуля на «основну» дію та «зворотну» дію може базуватись на процесі формування продукції: коли результат роботи макромодуля є придатним до передачі до наступних операцій – вважаємо, що «основна» дія виконана. Залишок дій макромодуля відносимо до «зворотної» дії.

Логічні умови щодо виконання інших дій складових макромодуля будуюмо за правилами логічного синтезу систем 1-3-го класів (5-й, 6-й і 7-й модулі – додаткові елементи пам'яті, 1-й модуль багаторежимний, рис. 5.3.2):

$$Y_1 \Leftarrow Y_M * X_7 * X_5 + Y_M * X_7 * X_5$$

$$Y_2 \Leftarrow X_5 * X_6$$

$$Y_3 \Leftarrow X_6 * X_7$$

$$Y_4 \Leftarrow Y_M * X_7$$

$$Y_5 \Leftarrow X_1 * X_4$$

$$Y_6 \Leftarrow X_1 * X_2$$

$$Y_7 \Leftarrow X_2 * X_3$$

$$Y_1 \Leftarrow X_5 * X_6 + X_5 * X_6$$

$$Y_2 \Leftarrow X_6$$

$$Y_3 \Leftarrow Y_M * X_7$$

$$Y_4 \Leftarrow Y_M * X_7$$

$$Y_5 \Leftarrow X_1 * X_3 * X_4$$

$$Y_6 \Leftarrow X_1 * X_5$$

$$Y_7 \Leftarrow X_6$$

Або для алгоритму керування :

$$Y_1 = Y_M * X_{N7} * X_{N5} + Y_{NM} * X_7 * X_5;$$

$$Y_2 = X_5 * X_{N6};$$

$$Y_3 = X_6 * X_{N7};$$

$$Y_4 = Y_M * X_{N7};$$

$$Y_5 = \underline{X_1} * \underline{X_4};$$

$$Y_6 = X_{N1} * \underline{X_2};$$

$$Y_7 = X_{N2} * \underline{X_3};$$

$$Y_{N1} = X_5 * X_{N6} + X_{N5} * X_6;$$

$$Y_{N2} = X_6;$$

$$Y_{N3} = Y_{NM} * X_7;$$

$$Y_{N4} = Y_{NM} * X_7;$$

$$Y_{N5} = \underline{X_1} * X_{N3} * X_{N4};$$

$$Y_{N6} = X_{N1} * X_{N5};$$

$$Y_{N7} = X_{N6}.$$

Система керування включатиме:

- три елементи пам'яті - керування рівнем зусилля,
- один елемент пам'яті – керування напрямом руху,
- три додаткових елементи пам'яті, забезпечують логічну визначеність,
- три додаткових реле для зчитування сигналів від датчиків положення,

- одно додаткове реле та реле часу (таймер) для зчитування сигналів від датчика тиску та затримки часу для дії остаточного пресування.

Опис складових макромодуля

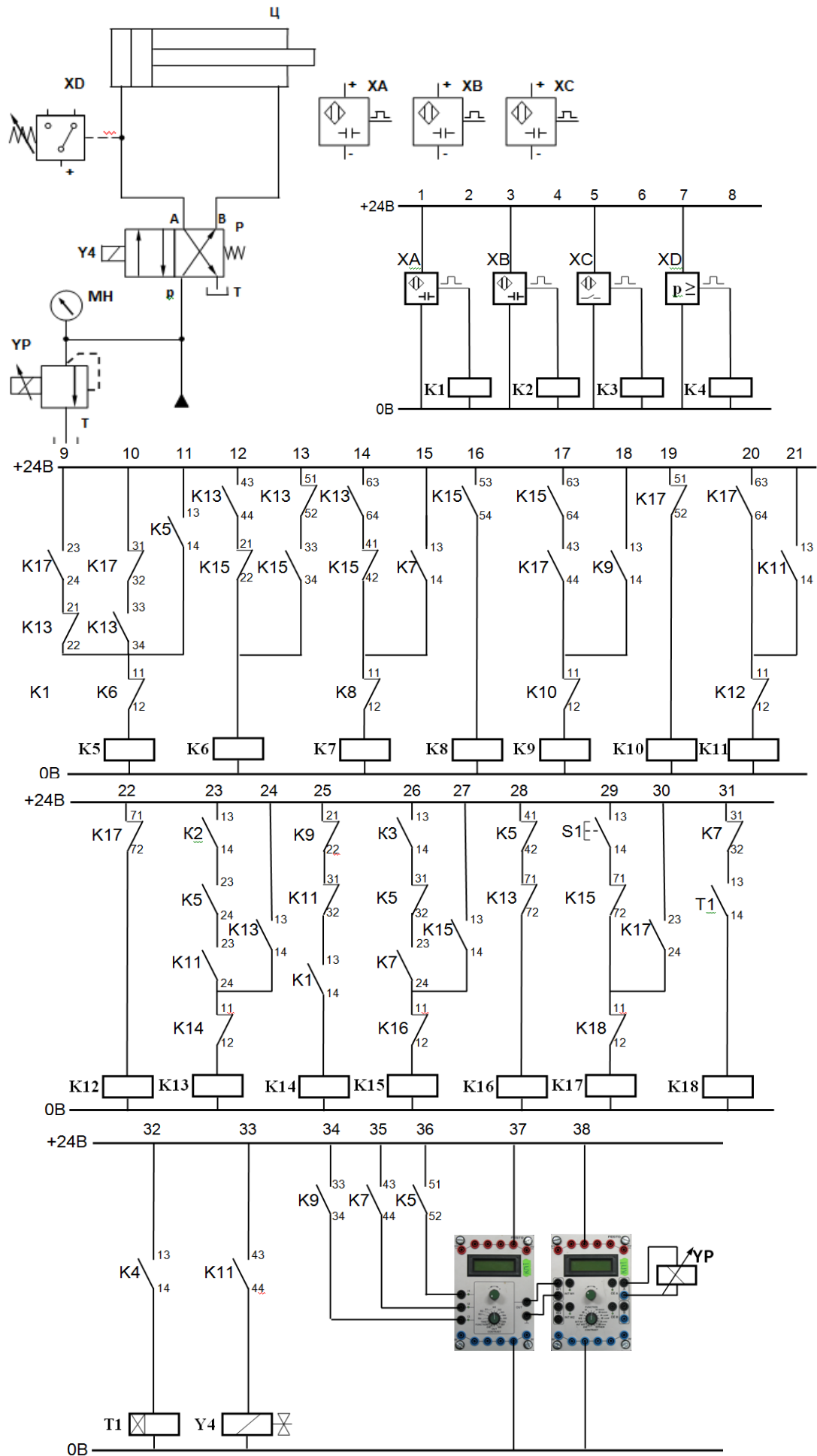
Таблиця 5.3.2.

| Модуль | Режим | Контроль основної дії   | Коментар  | Контроль зворотної дії | Коментар                                     |
|--------|-------|---|---|------------------------|--|
| 1      | 1     | $X_B * Y_1' * Y_4 =$<br>$X_B * Y_M * X_{N7} * X_{N5} * Y_M * X_{N7} =$<br>$X_B * Y_M * X_{N7} * X_{N5}$ | Сигнал датчика $X_B$ при зусиллі $Y_1$ при русі вперед $Y_4$        | $X_{N1} = Y_{N1}$      | Стан елемента пам'яті першого рівня зусилля  |
| 1      | 2     | $X_A * Y_1'' * Y_{N4} =$<br>$X_A * Y_{NM} * X_7 * X_5 * Y_{NM} * X_7 =$<br>$X_A * Y_{NM} * X_7 * X_5$   | Сигнал датчика $X_A$ при зусиллі $Y_1$ при русі повернення $Y_{N4}$ | $X_{N1} = Y_{N1}$      | Стан елемента пам'яті першого рівня зусилля  |
| 2      | 1     | $X_C * Y_2 =$<br>$X_C * X_5 * X_{N6}$   | Сигнал датчика $X_C$ при зусиллі $Y_2$                              | $X_{N2} = Y_{N2}$      | Стан елемента пам'яті другого рівня зусилля  |
| 3      | 1     | $X_D * T_1 * Y_3 =$<br>$X_D * T_1 * X_6 * X_{N7}$   | Сигнал реле тиску $X_D$ Із затримкою часу $T_1$ при зусиллі $Y_3$   | $X_{N3} = Y_{N3}$      | Стан елемента пам'яті третього рівня зусилля |
| 4      | 1     | $X_4 = Y_4$   | Стан елемента пам'яті пряму руху                                    | $X_{N4} = Y_{N4}$      | Стан елемента пам'яті пряму руху             |

*Примітка. Використання сигналу від датчика положення без припинення руху призводить до того, що сигнал з'являється і зникає. Необхідно його запам'ятати, або врахувати це в інакший спосіб при складанні логічних умов команд керування. Короткостроковий сигнал непридатний для використання в командах при моностабільному керуванні без його подовження.*

Особливої уваги заслуговують сигнали опосередкованого контролю за відпрацюванням дій модулів (в виразах команд вони підкреслені). Сигнал **X1** першого режиму (пресування) і другого режиму (повернення пуансона), сигнали **X2** і **X3** (другий та третій рівні зусилля) та **X4** – контроль руху вперед. Усі вони фактично є не сигналами, а логічними функціями. Цим функціям необхідно надати коректні вирази та здійснювати їх коректне використання. Тобто вираз, що його побудовано, має відповідати задачі щодо його використання в командах керування.





**Рис. 5.3.3. Схема гідравлічного привода пресу та приклад реалізації автоматичної зміни зусилля пресування**

При складанні схеми системи керування (рис. 5.3.3) або розробці алгоритму керування найпростішим є використання сигналів від елементів пам'яті (модулі 5, 6 та 7). Сигнали вимикання рівнів зусилля є так само елементами пам'яті (модулі 1, 2 та 3).

*Примітка. При ототожненні сигналу команди з сигналом контролю (наприклад, « $XN3 = YN3 + \text{затримка у часі}$ ») затримка у часі може бути відсутня, якщо швидкодія перемикання пристрою дозволяє нею знехтувати (у порівнянні з часом відпрацювання інших дій). Наприклад, час перемикання електропневмоклапану може складати соті долі секунди – тоді затримка часу може не мати принципового значення, якщо паралельно відбувається виконання робочого руху технологічним інструментом. Але час зупинки потужного гідромотора, що приводить в рух транспортер з великим інерційним навантаженням, бажано врахувати.*

Схему системи макромодуля зручно розглядати за частинами з певним впорядкуванням. Перша частина схеми (рис. 5.3.3) відповідає апаратній частині системи керування модуля. Друга частина забезпечує попередню обробку сигналів контролю та зовнішніх сигналів керування. На третю частину припадають елементи пам'яті системи та основна частина команд логічного керування. Четверта частина вміщує схеми під'єднання магнітів керуючих пристроїв, та керування дискретними входами задатчика сигналів для клапанів з пропорційним керуванням.

#### Завдання для самостійної роботи

Розробити систему з дискретним перемиканням зусилля і побудувати на її основі макромодуль з 2-ма значеннями зусилля при прямому ході та двома значеннями швидкості при зворотному ході і 3-ма позиційними датчиками по ходу руху.

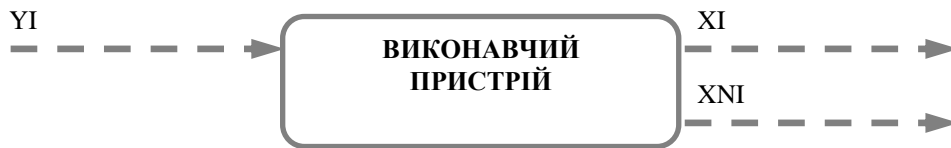
#### Питання для самоперевірки:

1. Скільки значень зусилля можна задати, якщо в задатчику є 3 дискретних входи?
2. Чи будуть однакові значення зусилля основного і зворотного руху, якщо вони мають однакові значення струму живлення магніту?
3. На скільки зменшиться кількість гідравлічних пристроїв при переході від дискретного перемикання до пропорційного керування в системі з 3-ма значеннями зусилля?
4. Чим відрізняється використання сигналів опосередкованого контролю від прямого контролю в виразах команд керування?
5. Навіщо розподіляти схему системи керування на складові частини?

## 6. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ МОДУЛІ

### ПРИКЛАД №12

#### 6.1. МОДУЛЬ ЛІНІЙНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ



**ПРИЗНАЧЕННЯ:** лінійне переміщення об'єктів вздовж вісей (вертикальної, горизонтальної, похилої) між двома фіксованими позиціями

|               |           |  |
|---------------|-----------|--|
| <b>СКЛАД:</b> | Керування | : блок керування.                        |
|               | Виконання | : електромотор постійного струму.        |
|               |           | : лінійна механічна передача.            |
|               | Контроль  | : безконтактний датчик положення – 2 шт. |

Модуль лінійного переміщення використовується в задачах автоматизації для виконання лінійного переміщення об'єктів або інструментів. При появі сигналу керування переміщенням каретки "вперед" до положення, яке контролюється датчиком крайнього положення, і зупинка. До складу модуля входять: механічна лінійна передача з кареткою (пасова передача, гвинтова передача, шарико-гвинтова передача); електромотор постійного струму; безконтактні датчики крайніх положень; блок керування (рис.6.1.1). Максимальне переміщення каретки регулюється встановлення датчиків крайніх положень, в межах ходу передачі.

Сигнал керування  $Y_S$ , який керує роботою модуля, формується зовнішньою системою керування (релейна схема керування, мікроконтролер, PLC, промисловий комп'ютер та ін.). Пряма дія  $Y_S=1$  – відповідає переміщенню "вперед"; обернена дія  $Y_S=0$  – переміщення "назад" (повернення в початкове положення).

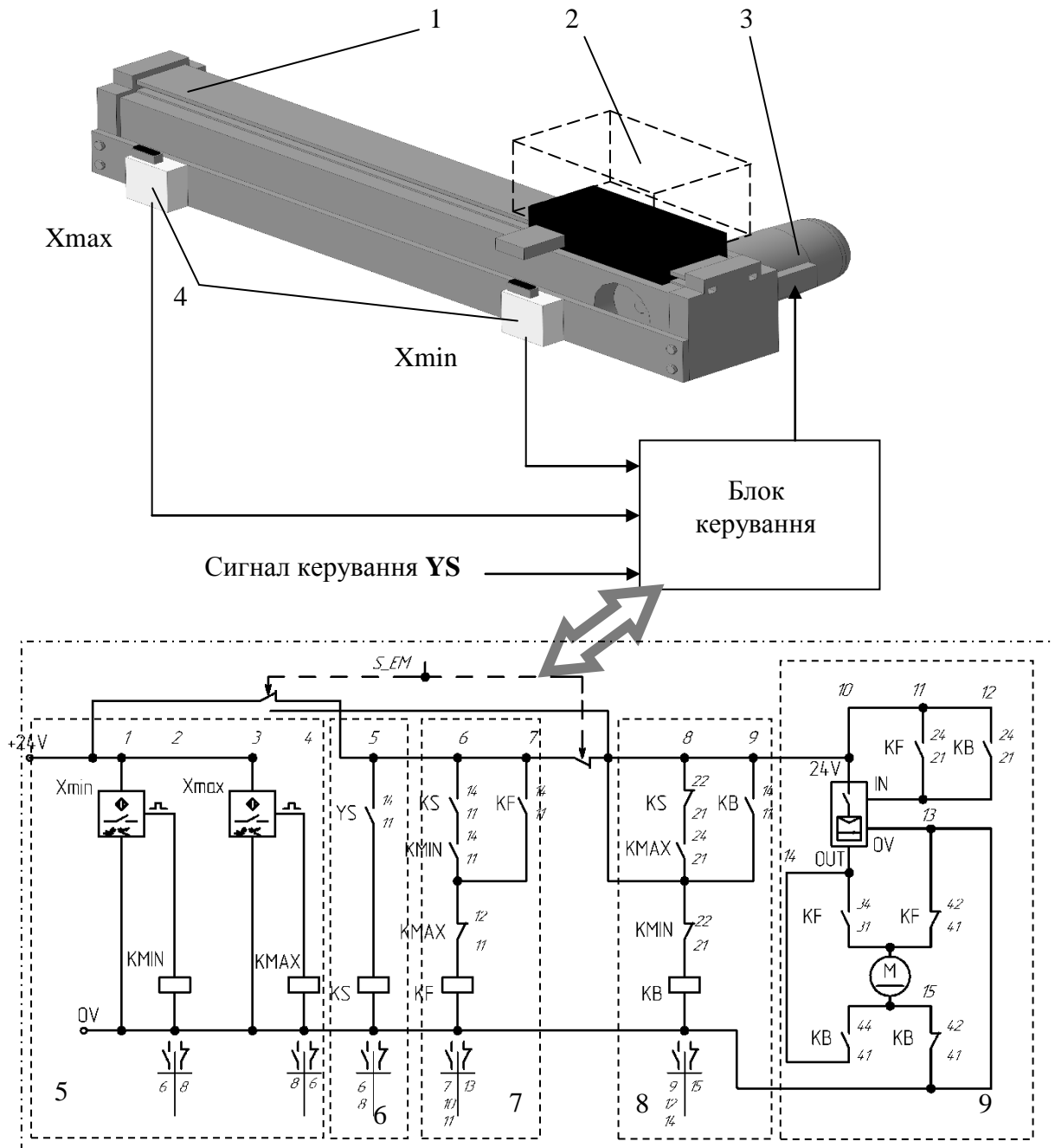
Сигнал від датчика  $X_{\max}$  обмежує переміщення "вперед":  $X_{\max}=1$  – зупинка і утримання положення, за умови  $Y_S=1$ .

Сигнал від датчика  $X_{\min}$  обмежує переміщення "назад":  $X_{\min}=1$  – зупинка і утримання положення, за умови  $Y_S=0$ .

Зовнішній сигнал  $S_{EM}$  – сигнал екстреної зупинки, який перериває виконання прямої дії і повертає каретку у початкове положення.  $S_{EM}=0$  – робота модуля керується сигналом  $Y_S$ .

Схема блока керування забезпечує наведені варіанти роботи модуля лінійного переміщення (рис.6.1.1).

Формування і підтримка команд на переміщення "вперед/назад" здійснюється за допомогою контурів живлення реле KF – для переміщення "вперед" і KB – для переміщення "назад", повернення у початкове положення.



**Рисунок 6.1.1. Електромеханічний модуль лінійного переміщення:**

**1** – механічна лінійна передача; **2** – об'єкт, який переміщується; **3** – електромотор постійного струму; **4** – безконтактні датчики крайніх положень; **5** – підключення датчиків; **6** – контур формування сигналу керування; **7** – контур керування переміщенням "вперед"; **8** – контур керування переміщенням "назад"; **9** – контур підключення електромотору; **S\_EM** – сигнал екстреної зупинки (примусове повернення у вихідне положення).

В залежності від стану сигналів керування і контролю модуль виконує наступні дії:

а)  $YS=1$ ;  $X_{min}=1$  – переміщення "вперед", до появи сигналу  $X_{max}=1$ ;

- б)  $YS=1$ ;  $X_{\max}=1$  – утримання положення до зникнення сигналу  $YS$ ;  
 в)  $YS=0$ ;  $X_{\max}=1$  – переміщення "назад", до появи сигналу  $X_{\min}=1$ ;  
 г)  $S_{EM}=1$  – примусове переміщення "назад", до появи сигналу  $X_{\min}=1$  і утримання положення. Стан сигналу  $YS$  ігнорується.

Початкове положення каретки відповідає місцю встановлення датчика  $X_{\min}$ . За потреби, початкове положення можна змінити помінявши датчики місцями встановлення, але при цьому сигнал  $YS$ , на вході в блок керування, має бути інвертовано.

Завдання для самостійної роботи.

Провести розрахунок і вибір обладнання для модуля згідно даних наведених в таблиці 6.1.1.

Дані для розрахунку і підбору обладнання

Таблиця 6.1.1

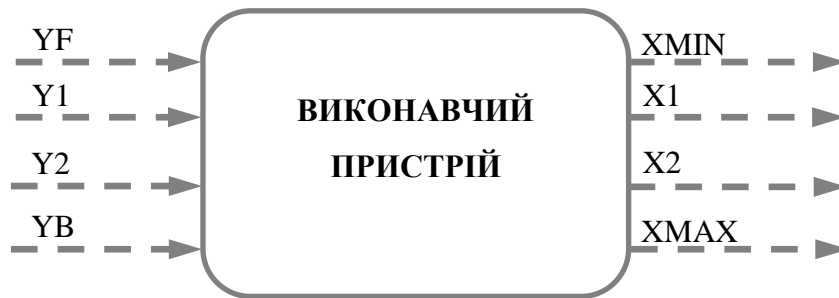
|  | 1    | 2        | 3       | 4     | 5       |
|--|------|----------|---------|-------|---------|
| Маса рухомої частини, кг                     | 0,3  | 0,5      | 0,25    | 1,2   | 2       |
| Максимальна швидкість переміщення, м/с       | 0,8  | 0,4      | 0,2     | 0,6   | 0,3     |
| Довжина ходу, м                              | 1,5  | 1,7      | 0,4     | 1,6   | 0,9     |
| Розташування (горизонтальне або вертикальне) | гор. | верт.    | гор.    | верт. | гор.    |
| Тип передачі                                 | ШГП  | Гвинтова | Ремінна | ШГП   | Ремінна |

Питання для самоперевірки:

1. Що спільного і які різниці в гідравлічних, пневматичних і електромеханічних модулях лінійного руху?
2. Які параметри впливають на швидкість руху?
3. Які елементи системи керування забезпечують зміну напрямку руху?
4. Чи зможе зовнішнє перевантаження призвести до зупинки руху, якщо так, то до чого це може призвести?
5. Яких даних в таблиці 6.1.1 не вистачає для більш точного розрахунку?

## ПРИКЛАД №13

### 6.2. БАГАТОПОЗИЦІЙНИЙ МОДУЛЬ ЛІНІЙНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ



**ПРИЗНАЧЕННЯ:** лінійне переміщення об'єкту між позиціями

|               |           |   |  |
|---------------|-----------|---|--|
| <b>СКЛАД:</b> | керування | : | блок керування;  |
|               | виконання | : | двигун постійного струму з лінійною механічною передачею |
|               | контроль  | : | безконтактні датчики положення – 4 шт.                   |

Багатопозиційний модуль лінійного переміщення використовується в технологічних задачах, в яких необхідно забезпечити лінійне переміщення в двох напрямках з можливістю зупинки в проміжних положеннях. Наприклад, сортування деталей по 3-ом або більше лоткам; сортування по коміркам стелажу; переміщення деталі між позиціями обробки.

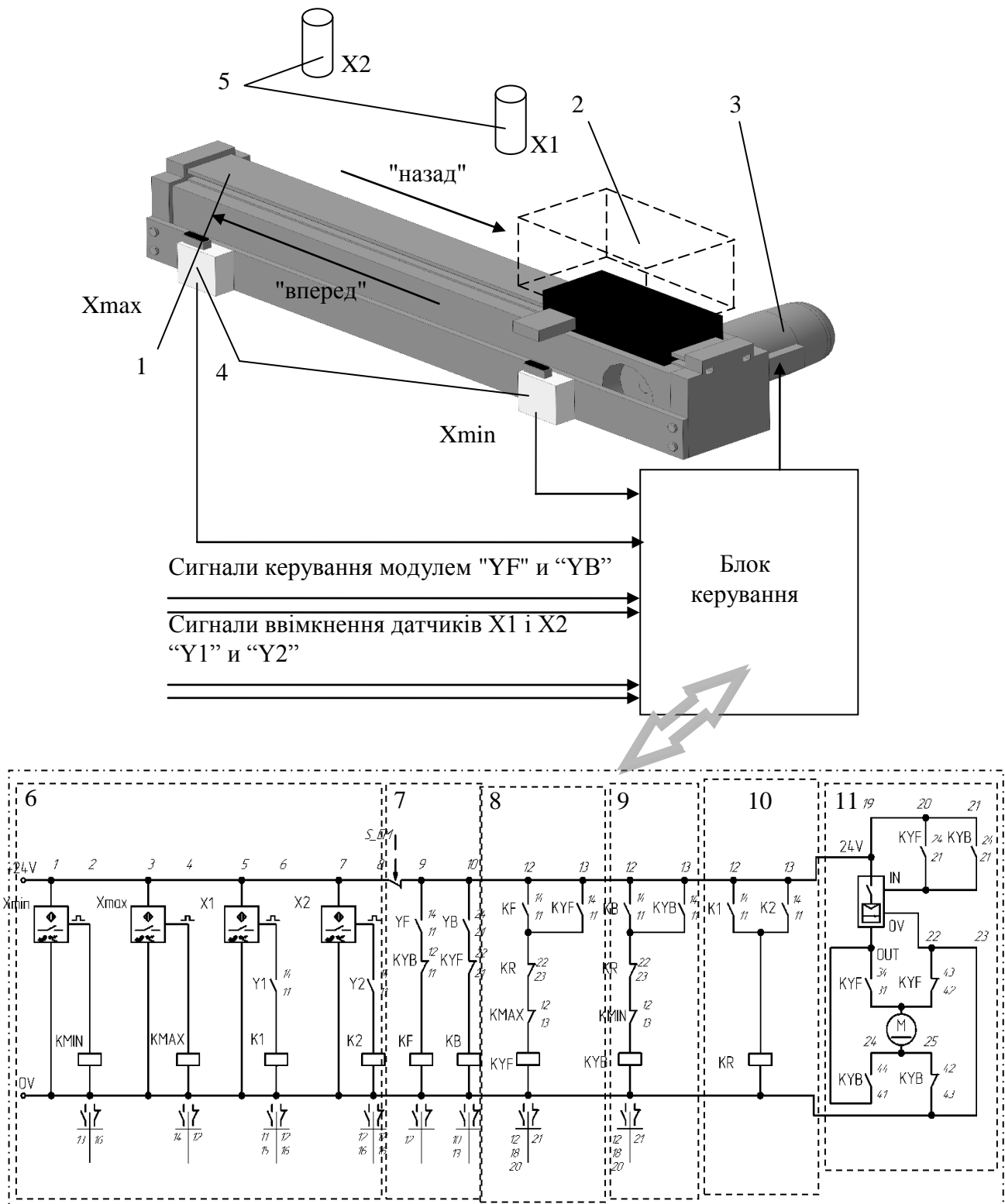
До складу модуля входять: механічна лінійна передача із кареткою; електромотор постійного струму; безконтактні датчики положення; блок керування (рис. 6.2.1). Максимальне переміщення каретки регулюється встановлення датчиків крайніх положень, в межах ходу передачі. Зупинка каретки в проміжних положеннях забезпечується за допомогою додаткових датчиків, які встановлено на відповідних позиціях зупинки каретки. Кількість проміжних позицій визначається кількістю датчиків і їх підключенням до блоку керування.

Сигнали ввімкнення переміщення "вперед/назад" і сигнали зупинки в проміжних положеннях формуються зовнішньою системою керування (релейна схема керування, мікроконтролер, PLC, промисловий комп'ютер та ін.). Пряма дія відповідає переміщенню в одному з двох напрямків, обернена дія – зупинка. Сигнал  $YF=1$  – переміщення "вперед", зупинка за сигналом від одного із датчиків:  $X1$ ;  $X2$ ;  $X_{\max}$ .

Сигнал  $YB=1$  – переміщення "назад", зупинка за сигналом від одного із датчиків:  $X2$ ;  $X1$ ;  $X_{\min}$ .

Сигнал  $Y1=1$  – ввімкнення датчика  $X1$ .

Сигнал  $Y2=1$  – ввімкнення датчика  $X2$ .



**Рисунок 6.2.1. Електромеханічний багатопозиційний модуль лінійного переміщення: 1 – механічна лінійна передача; 2 – об’єкт; 3 – електромотор постійного струму; 4 – безконтактні датчики крайніх положень; 5 – датчики проміжних положень; 6 – підключення датчиків; 7 – контур подачі сигналів на переміщення "вперед/назад"; 8 – контур керування переміщенням "вперед"; 9 – контур керування переміщенням "назад"; 10 – контур зупинки каретки в проміжних положеннях; 11 – контур підключення електромотору; S\_EM – сигнал екстреної зупинки**

Сигнали датчиків крайніх положень  $X_{\min}$  и  $X_{\max}$  постійно ввімкнені і зупиняють каретку в крайніх положеннях.

$S_{EM}$  – сигнал екстреної зупинки,  $S_{EM}=1$  – відключення контурів з 7 по 11 (рис.6.2.1) від живлення, що призводить до зупинки каретки в поточному положенні. Переміщення у необхідну позицію відбувається після вимкнення сигналу  $S_{EM}$  за допомогою одного із сигналів на переміщення  $YF$  чи  $YB$  або, в ручному режимі, за допомогою кнопок, які їх дублюють (на схемі (рис.6.2.1) не позначено).

Команда ввімкнення переміщення "вперед":

$$YF \wedge \overline{YB} \wedge (\overline{X1'} \vee \overline{X2'} \vee \overline{X_{\max}}).$$

Команда ввімкнення переміщення "назад":

$$YB \wedge \overline{YF} \wedge (\overline{X1'} \vee \overline{X2'} \vee \overline{X_{\min}}).$$

Замикання контактів  $K1$  і  $K2$  у контурі 10 (рис.6.2.1) відбувається за умов:

для  $K1$ :  $X1' \leftarrow [(X1=1)*(Y1=1)]$ ;

для  $K2$ :  $X2' \leftarrow [(X2=1)*(Y2=1)]$ .

Зупинка і утримання каретки в проміжних положеннях  $X1$  і  $X2$  можлива за будь-якого значення сигналів на переміщення, оскільки контури 8 і 9 (рис.6.2.1) розімкнені. Зупинка і утримання каретки в крайніх положеннях відбувається за умови відсутності сигналу на рух в протилежному напрямку: для положення  $X_{\max}$  – відсутність сигналу  $YB$ ; для положення  $X_{\min}$  – відсутність сигналу  $YF$ . Початкове положення каретки може відповідати позиції будь-якого з датчиків. Сигнали датчиків мають додатково виводитись на зовнішню систему керування для контролю виконання модулем попередньої дії і контролю повернення у початкове положення.

Завдання для самостійної роботи.

Провести розрахунок і вибір обладнання для модуля згідно даних наведених в таблиці 6.2.1. Побудувати циклограму процесу в координатах часу, якщо час перебування на позиціях  $X1$  і  $X2$  становить 5с, часом зупинки на позиціях  $X_{\min}$  і  $X_{\max}$  нехтувати.

Дані для розрахунку і підбору обладнання

Таблиця 6.2.1

|  | 1   | 2   | 3    | 4   | 5   |
|--|-----|-----|------|-----|-----|
| Маса рухомої частини, кг                         | 0,3 | 0,5 | 0,25 | 1,2 | 2   |
| Максимальна швидкість переміщення, м/с           | 0,8 | 0,4 | 0,2  | 0,6 | 0,3 |
| Відстань між позиціями $X_{\min}$ $X_{\max}$ , м | 1,5 | 1,7 | 1,4  | 1,6 | 0,9 |
| Відстань між                                     | 0,3 | 0,6 | 0,5  | 0,2 | 0,4 |



|   |  |  |  |   |  |
|---|--|--|--|---|--|
| позиціями $X_{\min}$ $X_1$                      |  |  |  |   |  |
| Відстань між<br>позиціями $X_1$ $X_2$           | 0,2  | 0,8  | 0,4  | 1,0   | 0,25   |
| Установка<br>(горизонтальна або<br>вертикальна) | гор.   | верт.  | гор.   | верт.   | гор.   |
| Тип передачі                                    | ШГП  | Гвинтова   | Ремінна  | ШГП   | Ремінна  |
| Порядок обходу<br>позицій                       | $X_{\max}$<br>$\rightarrow X_2$<br>$\rightarrow X_{\max}$<br>$\rightarrow X_1$<br>$\rightarrow X_{\max}$ | $X_{\min}$<br>$\rightarrow X_2$<br>$\rightarrow X_{\max}$<br>$\rightarrow X_1$<br>$\rightarrow X_{\min}$ | $X_{\max}$<br>$\rightarrow X_1$<br>$\rightarrow X_{\min}$<br>$\rightarrow X_2$<br>$\rightarrow X_{\max}$ | $X_{\min}$<br>$\rightarrow X_1$<br>$\rightarrow X_2$<br>$\rightarrow X_1$<br>$\rightarrow X_{\min}$ | $X_{\min}$<br>$\rightarrow X_2$<br>$\rightarrow X_{\max}$<br>$\rightarrow X_1$<br>$\rightarrow X_{\min}$ |

Питання для самоперевірки:

1. Які параметри впливають на швидкість руху?
2. Що необхідно змінити в схемі для обмеження швидкості руху?
3. Чи може супутнє навантаження призвести до прискорення руху?
4. Чи може рухома ланка «проскочити» потрібну позицію зупинки, якщо так, то у якому випадку і як цьому запобігти?
5. Навіщо у виразах команд керування останній множник зі знаком інверсії?

## ПРИКЛАД №14

### 6.3. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ МОДУЛЬ ПОВОРОТНОГО СТОЛУ



**ПРИЗНАЧЕННЯ:** кругове переміщення деталей між позиціями обробки, з фіксацією положення

|        |           |   |  |
|--------|-----------|---|--|
| СКЛАД: | керування | : | блок керування                         |
|        | виконання | : | електромотор постійного струму         |
|        |           | : | черв'ячний редуктор                    |
|        |           | : | електромеханічний фіксатор             |
|        | контроль  | : | безконтактний датчик положення – 2 шт. |

Для послідовного кругового переміщення деталей або інших об'єктів між позиціями використовуються поворотні столи. Поворот стола забезпечується за допомогою електромеханічної передачі. Для забезпечення точності позиціонування використовуються датчики, які контролюють величину кута повороту, що відповідає куту між позиціями відносно осі обертання стола, та наявності деталей на позиціях обробки і правильність їх положення.

Наприклад, кругове переміщення деталі між 4-ма позиціями (рис.6.3.1): позиція завантаження (I); контроль положення деталі на столі (II); обробка деталі (III); відвантаження (IV). При цьому, час знаходження деталі на позиції регламентується зовнішнім сигналом керування системи і відповідає часу виконання найбільш тривалої операції.

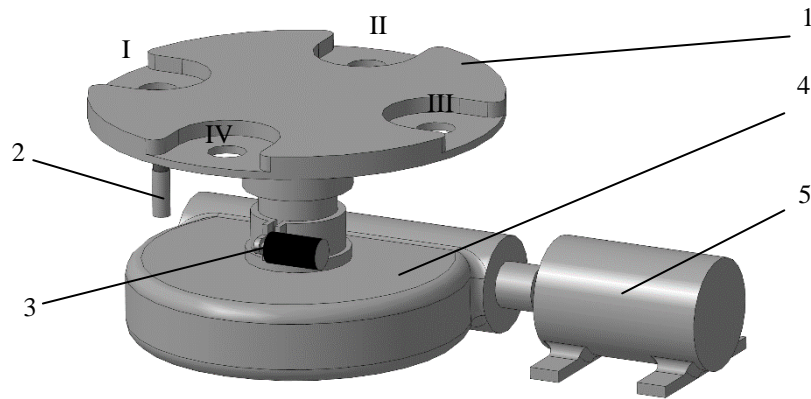
До складу модуля поворотного стола входять: електромотор постійного струму; механічна передача (черв'ячний редуктор); електромеханічний фіксатор; датчик положення стола; блок керування (рис.6.3.2).

Пряма дія відповідає повороту стола на заданий кут; обернена дія – зупинка стола і фіксація положення. Блок керування забезпечує роботу модуля в автоматичному і ручному режимах

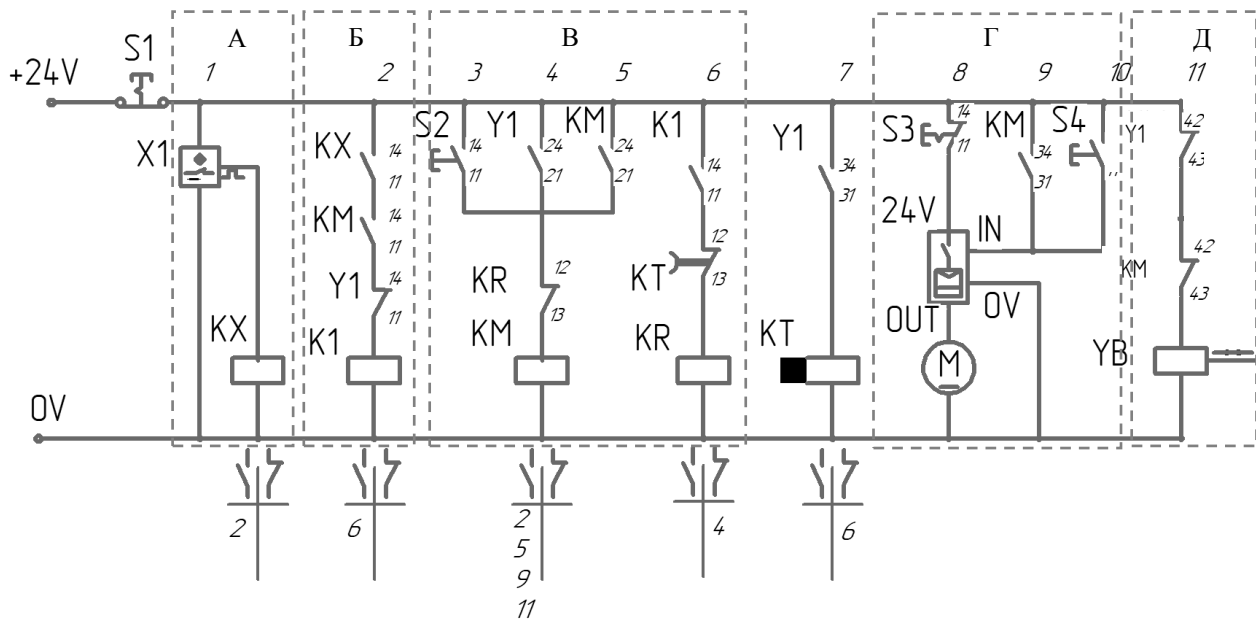
Сигнал на виконання повороту стола на заданий кут відбувається при подачі сигналу Y1, при цьому механізм фіксації відключається. Після появи сигналу X1, що свідчить про поворот стола на заданий кут, виконується відключення живлення мотора і ввімкнення живлення електромагніту YB на фіксацію положення. Сигнал має Y1 зніматись через певний час, який відповідає часу повороту стола на кут, при якому зникає сигнал від датчика положення. Час затримки встановлюється за допомогою реле часу КТ. При

постійно ввімкненому сигналі Y1 буде відбуватись безперервне обертання столу, яке зупиниться після зняття сигналу Y1 по сигналу від датчика X1.

Для налаштування модуля в електрорелейній схемі блоку керування (рис.6.3.2) передбачені кнопки (S2...S4) для ручного керування.



**Рисунок 6.3.1. Електромеханічний модуль поворотного столу**



**Рисунок 6.3.2. Електрорелейна схема блоку керування:**

**А** – підключення датчика контролю повороту; **Б** – контур керування опитуванням стану сигналу від датчика X1; **В** – контур керування сигналом на ввімкнення/вимкнення повороту столу; **Г** – контур керування електромотором; **Д** – контур керування електромагнітом фіксатора.

Переміщення деталей відбувається наступним чином: при появі зовнішнього сигналу Y1 відбувається переривання опитування стану сигналу датчика X1 та відключення живлення електромагніту фіксатора YB. Одночасно з цим подається сигнал на пристрій плавного пуску електромотору, яке забезпечує ввімкнення мотору із запізненням, достатнім для зняття фіксації. Після цього має припинятись подача зовнішнього сигналу Y1. В схемі блоку керування, в контурі керування ввімкненням/вимкненням зникнення сигналу

Y1, для лінії розриву само підхвату реле КМ, затримується на час, необхідний для зникнення сигналу від датчика X1. Поворот відбувається до моменту появи сигналу КХ, після чого відбувається розімкнення контуру само підхвату реле КМ і зупинка електромотору. Паралельно з цим відсутність сигналів Y1 і КМ замикає контур живлення електромагніту фіксатора YВ. При повторній подачі сигналу Y1 відбувається повторний поворот стола на заданий кут.

Початкове і кінцеве положення для модуля поворотного столу відповідає однаковим станам сигналів, до та після подачі сигналу Y1,  $KX = 1$ ;  $KM = 0$ . Контроль стану модуля відбувається за комбінацією сигналів  $XnM = KX * nKM$  – початковий/кінцевий стан;  $XM = KM$  – виконання прямої дії. Опитування стану модуля і визначення, який саме стан модуля за сигналом  $XnM$  (початковий чи кінцевий), має враховуватись в алгоритмі керування зовнішньої системи. Також, зовнішньою системою керування має забезпечуватись короткочасність подачі сигналу Y1 (сумарна тривалість сигналу Y1 і часу затримки КТ має бути не більша половини часу, який витрачається на один поворот).

Завдання для самостійної роботи.

Провести розрахунок і вибір обладнання для модуля згідно даних наведених в таблиці 6.3.1.

Дані для розрахунку і підбору обладнання

Таблиця 6.3.1

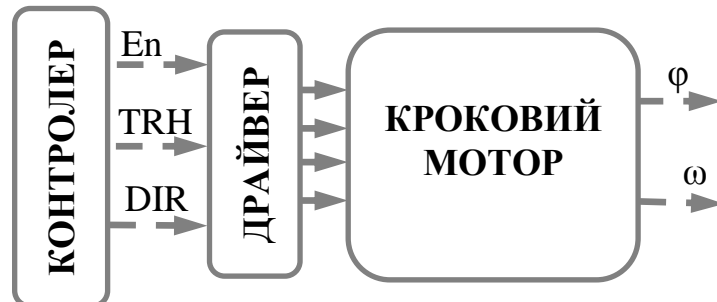
|  | 1    | 2    | 3    | 4   | 5   |
|--|------|------|------|-----|-----|
| Маса поворотної платформи, кг                            | 8    | 3,8  | 15   | 30  | 45  |
| Маса деталі, кг  | 0,3  | 0,5  | 0,9  | 0,3 | 0,4 |
| Діаметр платформи, м                                     | 0,6  | 0,4  | 0,8  | 1,2 | 1,4 |
| Відстань від центру платформи до позиції деталі, м       | 0,25 | 0,16 | 0,32 | 0,5 | 0,6 |
| Кількість деталей, що знаходяться одночасно на платформі | 2    | 3    | 4    | 2   | 3   |

Питання для самоперевірки:

1. Які параметри впливають на швидкість руху штоку?
2. Що необхідно змінити в схемі для обмеження швидкості зворотного ходу?
3. Чому у варіанті в) відсутній зворотній клапан?
4. Які гідравлічні пристрої використано в схемі (рис. 5.2.1), назва, тип, функція?
5. Які дані таблиці 5.2.1 є зайвими для поставленої задачі?

## ПРИКЛАД №15

### 6.4. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ МОДУЛЬ ПОЗИЦІОНУВАННЯ НА БАЗІ КРОКОВОГО ЕЛЕКТРОМОТОРА



**ПРИЗНАЧЕННЯ:** переміщення і позиціонування об'єкту з заданою точністю

|               |           |   |  |
|---------------|-----------|---|--|
| <b>СКЛАД:</b> | керування | : | блок керування/контролер;  |
|               |           | : | драйвер крокового мотору.  |
|               | виконання | : | кроковий мотор з механічною передачею                            |
|               | контроль  | : | контроль положення реалізовано програмно                         |
|               |           | : | додатково датчики крайніх положень у складі механічної передачі; |
|               |           | : | датчики контролю у складі зовнішньої системи керування,          |

Крокові мотори широко застосовуються в приводах механізмів і машин різного призначення, де необхідно забезпечити певну точність і швидкість переміщення робочої частини і утримувати задане положення. Характерною ознакою крокових моторів є відсутність зворотного зв'язку по положенню вихідної ланки, величина і швидкість переміщення обумовлюється кількістю і частотою поданих імпульсів від блоку керування або контролера на драйвер крокового мотору (рис. 6.4.1.).

Сигнал керування представляє собою серію прямокутних імпульсів, кількість яких визначає кут повороту валу крокового мотора, які подаються на вхід драйвера  $E_n$ . Частота переданих імпульсів визначає швидкість повороту валу. Зокрема, окрім характеристики вхідних імпульсів кут повороту і швидкість залежать від режиму роботи, який задається на драйвері крокового мотору. Напрямок обертання валу визначається наявністю сигналу на вході драйвера  $DIR$  (рис. 6.4.1.). Вхід драйвера  $TRN$  обмежує мінімальне значення амплітуди вхідних імпульсів, які будуть зчитуватись. Це зроблено з метою фільтрування сторонніх шумів в каналі керування, які можуть бути сприйняті драйвером, як сигнал керування.

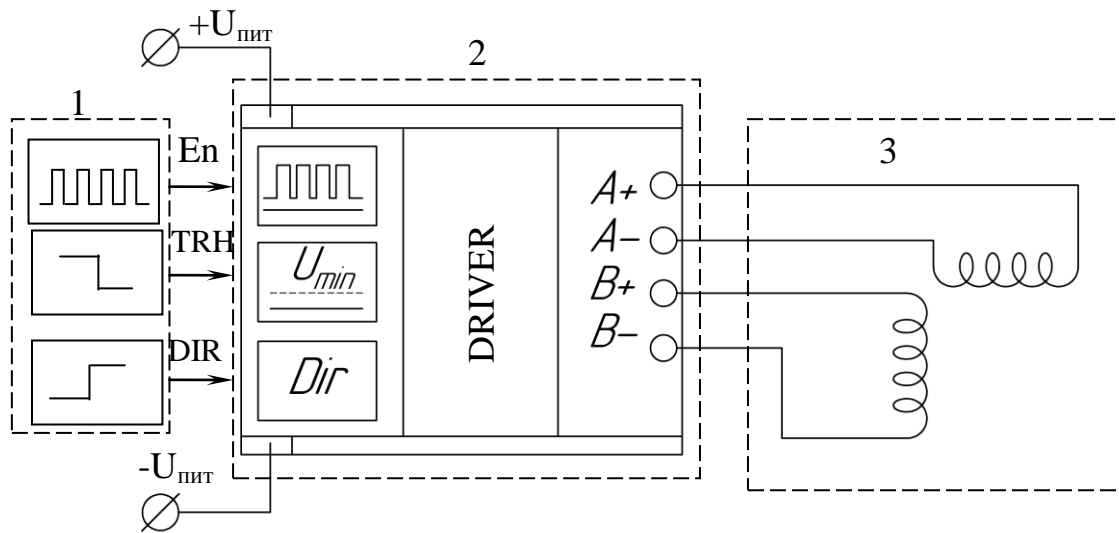


Рисунок 6.4.1. Модуль крокового мотора позиціонуючого пристрою:

1 – контур керування (En – вхідний сигнал, підключення генератора імпульсів; TRH (Treshhold) – сигнал встановлюючий мінімальне значення сигналу на вході En; DIR (Direction) – сигнал керування напрямком обертання валу крокового мотора); 2 – драйвер крокового мотору; 3 – схема підключення обмоток крокового мотору

Керування кроковим мотором може реалізовуватись двома способами:

- 1) на вхід драйвера En підключено генератор імпульсів постійної частоти за амплітудою  $U_{max}$ , мінімальний рівень сигналу  $U_{min}$ . На вхід драйвера TRH подається дискретний сигнал, який приймає значення  $U_{tmax}$  і  $U_{tmin}$ , які обмежують мінімально допустимий сигнал на вході En. Спрацювання крокового мотору відбувається при виконанні умови  $U_{tmin} < U_{min}$ . За умови  $U_{tmax} > U_{max}$  сигнали на вході En не сприймаються драйвером, як сигнали керування – утримання поточного положення;
- 2) на вхід TRH подається постійне значення напруги, що фільтрує можливі шуми в каналі керування. Керування кроковим мотором відбувається імпульсами від мікропроцесорної схеми блоку керування або контролера, яка подається на вхід En.

Наявність чи відсутність сигналу на вході DIR визначає напрям обертання валу мотора.

Крокові мотори можуть, як безпосередньо виконувати поворот робочого органу (дросельна заслінка, кулачковий патрон), так і у складі електромеханічного приводу виконувати лінійні чи кутові переміщення за допомогою передачі (рис.6.4.2).

В залежності від типу передачі, до модуля позиціонування можуть бути додаткові умови, що враховують інерційність механічної системи (обмеження максимальної частоти вхідних імпульсів) обмеженість ходу (необхідність встановлення датчиків крайніх положень в лінійних передачах), фіксоване початкове положення (датчик положення).

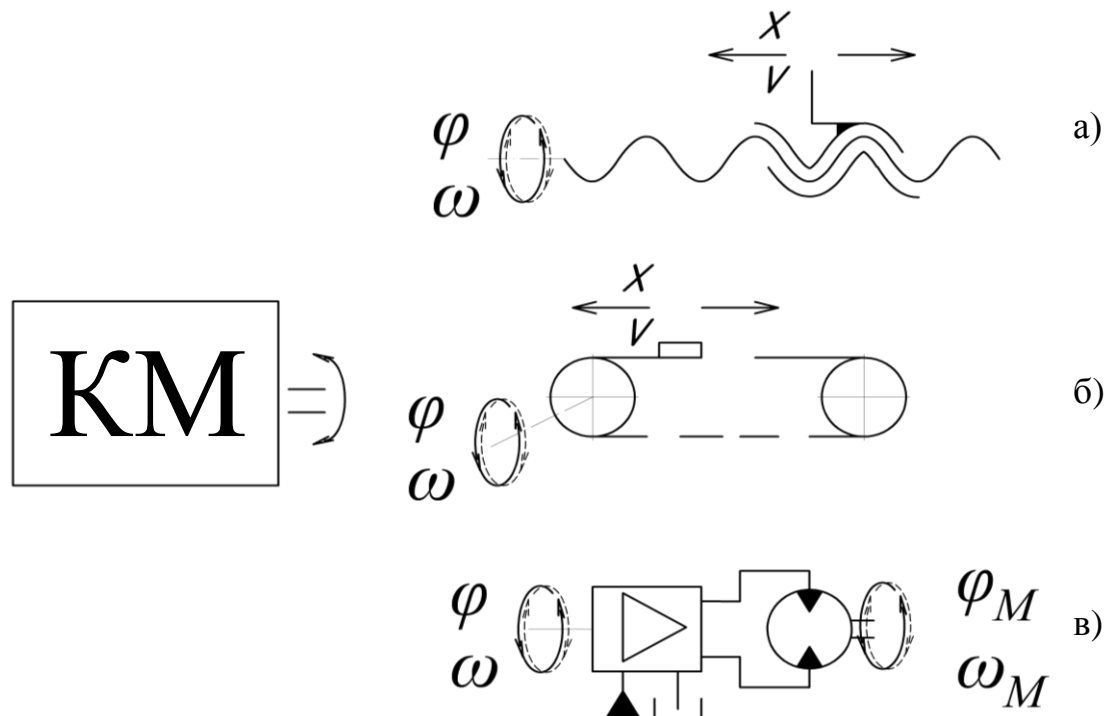


Рисунок 6.4.2. Типові передачі, які використовуються із кроковими моторами, електромеханічних приводів позиціонування:

а) лінійна передача "гвинт-гайка" або ШГП (шарико-гвинтова передача);  
б) ремінна передача; в) гідравлічна передача.

$\varphi$  – кут повороту валу крокового мотору;  $x$ ,  $v$  – величина і швидкість переміщення вихідної ланки передачі;  $\varphi_M$  – кут повороту валу гідромотору;  
 $\omega_M$  – швидкість повороту вихідного валу гідромотору

При використанні крокового мотору у складі електромеханічного приводу існують переваги, в порівнянні з електромотором постійного струму, які полягають у можливості контролю процесів розгону та гальмування. Це дозволяє без додаткових електричних пристроїв реалізовувати змінну швидкість переміщення, в залежності від поточного навантаження на вихідній ланці. Також, при роботі модуля з кроковим мотором в режимі багатопозиційного приводу, в більшості випадків, достатньо змінити алгоритм керування, без перебудови електричної схеми, для забезпечення виконання потрібних операцій.

Для керування лінійною передачею з кроковим мотором – віссю використовують контролер позиціонування, наприклад SPC200 фірми FESTO. Програма створюється в пакеті WinPISA фірми FESTO і записується у вигляді строкового коду з використанням NC команд. Керування віссю ззовні відбувається подачею команди керування Y1, яка підключена на вхід I0.0 модуля I/O контролера SPC200.

Приклад програми в програмному пакеті WinPISA фірми FESTO:  
n001 #TI0.0 1

n002 g01 x50 fx10  
 n003 g01 x75 fx20  
 n004 g01 x20 fx10  
 n005 #TNI0.0 0  
 n006 m30

- Строка n001 відповідає за зчитування значення стану команди  $Y1 = 1$ .
- Після появи на вході I0.0 сигналу відбувається виконання наступної строки n002, де по NC команді на переміщення g01, відбувається переміщення вихідної ланки вісі на позицію 50 мм, в координатах вісі (x50) із швидкістю 10 мм/с (fx10).
- Після виконання переміщення зазначеного в строчці n002 відбувається перехід до наступної строки n003.
- По NC команді g01 відбувається переміщення вихідної ланки вісі на позицію 75 мм, в координатах вісі (x75) із швидкістю 20 мм/с (fx10) і т.д.
- Строка n005 зчитує значення з входу I0.0 ( $Y1 = 0$ ), після чого відбувається перехід на строку n006 з NC командою m30, яка зупиняє виконання коду і повертає програму на зчитування першої строки n001 – очікування повторної подачі команди  $Y1$ .

Питання для самоперевірки:

1. Які параметри впливають на швидкість і кут повороту вихідного валу крокового мотору?
2. Які відомі типи крокових моторів що застосовуються у мехатронічних системах?
3. Які параметри впливають на точність позиціонування за допомогою крокових моторів?
4. Які основні відмінності в задачах автоматизації можуть впливати на вибір крокового електромотору чи пневматичного або гідравлічного двигуна, у тому числі з пропорційним керуванням?



## **ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОЗРОБКИ МЕХАТРОННИХ МОДУЛЬНИХ СИСТЕМ**

*Завдання для самостійної роботи, виконання групових лабораторних та практичних робіт, графічно-розрахункових робіт, або курсових робіт і проектів спрямовані на розробку систем керування певними технічними об'єктами з різним рівнем проробки та обґрунтування, макетування і перевірки запропонованого рішення. Система керування може бути розрахована на супровід життєвого циклу об'єкта автоматизації, на автоматизацію окремого режиму використання, на автоматизацію експлуатації в умовах змін впливу оточуючого середовища, на автоматизацію багаторежимної експлуатації. Система керування може вміщувати комбінації різних технічних засобів в спільній системі.*

*Наведені нижче приклади технічних об'єктів, що потребують автоматизації, можуть бути побудовані шляхом створення комплектів модулів та логічних зв'язків між їх діями, реалізованими із використанням перелічених засобів.*

Орієнтовний перелік об'єктів автоматизації

Деревообробний верстат випуску шліфованих дошок.

Автомат приготування кави із зерен з додаванням цукру та молока за попереднім замовленням.

Пневматичний тренажер для розробки ліктьових суглобів в післяопераційний період.

Стенд для випробувань гідравлічних циліндрів на герметичність.

Гідравлічна система для підйому-опускання навісного обладнання ґрунтообробної машини.

Пластмасавтомат для виготовлення пляшок із заготовок.

Система фасування сипучого матеріалу в коробки двох типорозмірів, що поступають на позицію в довільному порядку.

Стенд для ресурсних випробувань навантаженням опор велосипедної рами.

Автоматична ланка пресування блоків з відходів паперового виробництва.

Автоматизована система поливу та провітрювання оранжереї.

Автоматизований штабельор-навантажувач грузів вагою 2 ... 3 тони.

Система автоматизованого шлюзу вантажних автомобілів хладокомбінату.

Автоматизована ланка гальванічної обробки виробів завантажених в касети.

Автоматизована ланка лазерного розкрою листів на полоси певної ширини.

Вібросито сепарації сипучого матеріалу на три фракції за розміром.

Автомат для розливу і пакування горючої рідини.

Автоматизована система видалення бруду з робочої поверхні фрезерного верстату.

Автоматизована система виготовлення грифельних олівців.

Автомат з випікання млинців.

*Більшість необхідних для розв'язку задач синтезу функціональних модулів мають свої аналоги серед розглянутих прикладів, інші потребують*

*модернізації раніш запропонованих технічних рішень. У якості систем керування бажано застосувати найбільш прийнятні засоби чи пристрої в залежності від постановки задачі. У той же час застосування логічного контролера, структури циклічних модулів та макромодулів є обов'язковим для перевірки засвоєння матеріалу.*

Кожне рішення має складатись із наступного:

- запропонованого і обґрунтованого складу системи (перелік функцій – що їх виконують циклічні модулі);
- запропонованого комплексу циклічних модулів (основна дія, зворотна дія, спосіб контролю, спосіб керування);
- технічної реалізації циклічних модулів (технічні засоби виконання, керування, контролю);
- логічних виразів команд керування (включно з елементами пам'яті та інформаційними компонентами);
- принципової схеми автоматизованої системи;
- алгоритму керування;
- інструкції по використанню автоматизованого об'єкта.

### **РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА**

- DIN ISO 1219-1. Graphic symbols for pneumatic and hydraulic equipment. BS 2917 (ISO 1219). GRAPHICAL SYMBOLS FOR PNEUMATIC SYSTEMS AND COMPONENTS
- ГОСТ 2.781-96. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические. Аппараты гидравлические и пневматические, устройства управления и приборы контрольно-измерительные
- ГОСТ 2.782-96. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические. Машины гидравлические и пневматические
- ГОСТ 17752-81. Гидропривод объемный и пневмопривод. Термины и определения
- ДСТУ ГОСТ 2.704:2014. Єдина система конструкторської документації. Правила виконання гідравлічних і пневматичних схем (ГОСТ 2.704-2011, IDT)
- ДСТУ ГОСТ 2.702:2013Єдина система конструкторської документації. правила виконання електричних схем (ГОСТ 2.702-2011, IDT) I EC 60617-DB-12M:2012. Graphical symbols for diagrams (IDT)

### **(Основна)**

1. Deppert W., Stoll K. Pneumatikanwendungen – Koaten senken mit Pneumatic Wurzburg.- Vogel-Buchverlag, 1990.- 412 s.

2. Didactic systems: Fluidprax, Hydraulik, Elektrik/Elektronik.-Bosch Rexroth AG.- ErbachOdenwald.-2002.-128 S.
3. Elektrohydraulik: elektrische Steuerungen für Hydraulik.- Ruksaldruck, Berlin: Beuth.-1990.-90 S.
4. Elektropneumatik: elektrische Steuerungen für Pneumatik.- Ruksaldruck, Berlin: Beuth.-1990.-105 S.
5. Mobilhydraulik und Elektronik. Mannesmann Rexroth.- Bonitas-Bauer.- Würzburg.-1992.-416 S.
6. Proportional Hydraulics. Workbook Basic Level/ D. Scholz, A. Zimmermann, Festo Didactic GmbH&Co, OCKER Ingenieurbüro, Denkendorf 1998, 352 S.
7. Proportional- und Servoventil-Technik Der Hydraulik Trainer Band 2/ R. Ewald, J. Hutter, D. Kretz, A. Schmitt, Mannesmann Rexroth GmbH, Lohr am Main, Würzburg 1998, 304 S.
8. SPC200 Smart Positioning Controller. Electronics manual. Stepping motor indexer module Type SPC200-SMX-1. Festo AG & Co. KG, D-73726 Esslingen, Federal Republic of Germany, 2003
9. Аврунин Г.А., Грицай И.В., Кириченко И.Г., Мороз И.И., Щербак О.В. Объемный гидропривод и гидропневмоавтоматика.- Харьков: ХНАДУ, 2008.- 412 с.
10. Буренніков Ю.А. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : навчальний посібник /Ю.А.Буренніков, І.А.Немировський, Л.Г.Козлов. Вінниця: ВНТУ, 2013. – 273 с.
11. Валлер Д., Вернер Г. Электropневмоавтоматика ФЕСТО: основной курс ТР201 Сборник упражнений.- Изд. ФЕСТО.- 2002.- 112с.
12. Введение в мехатронику / Под ред. О.М.Яхно.- К.: НТУУ«КПИ», 2008.- 528с.
13. Волков Ю.Д. Программируемые контроллеры «Фесто».-К.:Изд-во ДП «Фесто», 2003.- 94с.
14. Губарев А.П. Дискретно-логическое управление в системах гидропневмоавтоматики: Учебное пособие.- К.: ИСМО, 1997.- 224с.
15. Губарев А.П., Левченко О.В. Мехатроника: от структуры системы к алгоритму управления: Учеб. Пособие.- К.: НТУУ«КПИ», 2007.- 180с.
16. Губарев О.П., Ганпанцурова О.С. “Дискретні системи керування гідропневмоавтоматики” (частина 4 Пропорційна гідравліка) Методичні вказівки до лабораторних робіт, для студентів спеціальності "Гідравлічні і пневматичні машини".- Київ: НТУУ«КПИ».- Вид. Біла Церква: ВАТ“Білоцерківська друкарня”.- 2009.- 56с.
17. Губарев О.П., Ганпанцурова О.С. Мехатроніка: Циклічно-модульний підхід до вирішення практичних задач автоматизації.- Київ: НТУУ«КПИ».- ВАТ “Білоцерківська друкарня”, 2016, 160с.
18. Губарев О.П., Левченко О.В., Ганпанцурова О.С. “Дискретні системи керування гідропневмоавтоматики” (частина 1 - Пневмоавтоматика) Методичні вказівки до лабораторних робіт, для студентів спеціальності "Гідравлічні і пневматичні машини".- Київ: НТУУ«КПИ».- Вид. Біла Церква: “БК Нафтохім-Аваль”.- 2007.- 52с.
19. Деменков Н.П. Языки программирования промышленных контроллеров: Учебное пособие/Под ред. К.А. Пупкова.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.С.Баумана.- 2004.- 172 с.

20. Лавріненко Ю.М. Основи електроприводу / Ю.М. Лавріненко, О.Ю. Синявський, В.В. Савченко // Підручник. – К.: 2010, с. 399
21. Мікропроцесорні пристрої і системи управління в харчовій промисловості: Навч. посібник /І.В. Ельперін, Є.Л. Календро, А.П. Ладанюк.- К.: ІСДО, 1994. – 140 с.
22. Пашков Е.В., Осинский Ю.А., Четверкин А.А. Электropневмоавтоматика в производственных процессах, 2-е изд.- Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003.- 496с.
23. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования/ - М.: СОЛОН-Пресс, 2004.- 236с.
24. Плагеманн Б. Контактная схема систем управления FPC фирмы FESTO.- Фесто КГ, Эссlingen, 1990.- 303 с.
25. Черкашенко М.В. Автоматизація проектування систем гідро- і пневмоприводів з дискретним управлінням: Навч.посібник.-2-е вид.,перероб.- Харків: НТУ"ХП", 2001.-182с.
26. Черкашенко М.В. Гидропневмоавтоматика. Под общ.ред. К.В.Савельева.- Харьков: ГИДРОСЛЕКС, 2002.- 75с.
27. Шульга О.В. Автоматизоване керування електроприводами / О.В. Шульга // Навчальний посібник. – Полтава, ПолтНТУ: 2007, с. 292
28. Экснер Х. Гидропривод. Основы и компоненты. Учебный курс по гидравлике. Том 1. / Х. Экснер, Р. Фрейтаг и др.; Под ред. В. К. Свешникова. – Эрбах: Бош Рекстрот АГ, 2003. – 323 с.

#### Додаткова фахова

29. Абрамов Е. И. Элементы гидропривода : Справочник. / Е. И. Абрамов, К. А. Колесниченко, В. Т. Маслов. – Киев, 1977. – 320 с.
30. Башта Т. М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы : Учебник для машиностроительных вузов; 2-е изд., перераб. / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др. — М. : Машиностроение, 1982. – 423 с.
31. Бочаров В. П. Гідравліка та гідропневмопристрої авіаційної техніки: Навчальний посібник / В.П.Бочаров, М.М.Глазков, Г.Й.Зайончковський, Т.В. Тарасенко, В.А.Трофімов. – К. : «НАУ-друк», 2011. – 472 с.
32. Гідравліка, гідро- та пневмопривод : підручник для студ. вищ. навч. закл. : 2-ге вид., перероб. і доп. / за ред. О.О. Федорця, О.Ф. Саленка. – Київ : Знання, 2009. – 502 с.
33. Гласс Р. Руководство по надежному программированию: Пер. с англ.-М.: Финансы и статистика, 1982.- 256с.
34. Глушков М.В., Капитонова Ю.В., Мищенко А.Т. Логическое проектирование дискретных устройств.-К.:Наукова думка, 1987.-264с.
35. Губарев О.П., Аверін В.З., Левченко О.В. "Програмовані контролери в системах керування гідропневмоавтоматики" (частина 2) Методичні вказівки до лабораторних робіт, для студентів спеціальності "Гідравлічні і пневматичні машини", «Прикладна механіка».- Київ: НТУУ«КПІ».- Вид. Біла Церква: "БК Нафтохім-Аваль".- 2006.- 52с.
36. Губарев О.П., Левченко О.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з

- курсу “Програмовані контролери в системах керування гідропневмоавтоматики” (частина 1) студентам, що навчаються за фахом “Гідравлічні і пневматичні машини”. – Київ, НТУУ “КПІ”, 2005.- 48 с.
37. Деменков Н.П. Нечеткое управление в технических системах: Учебное пособие/Н.П. Деменков; М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005.- 200 с.
  38. Ермолаев В. Я. Гидравлика, гидро- и пневмопривод : учебно-метод. пособ. / В. Я. Ермолаев. – Харьков : ХНАДУ, 2008. – 240 с.
  39. Зайченко Е. Т. Гидравлика и гидроприводы / Е. Т. Зайченко. Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 132 с.
  40. Залманзон Л.А. Теория аэрогидродинамических систем автоматического управления.- М.: 1977.- 416с.
  41. Информационные технологии в испытаниях сложных объектов: методы и средства/ В.И.Скурихин, В.Г.Квачев, Ю.Р.Валькман, Л.П.Яковенко.- К.: Наукова думка, 1990.- 320с.
  42. Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини та гідропневмопривід : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Інженерна механіка» / В. Р. Кулінченко, І. В. Дубковецький, О. М. Деменюк. – Київ : НУХТ, 2011- 246 с.
  43. Нагорный В.С., Денисов А.А. Устройства автоматики гидро- и пневмосистем: Учеб. пособие техн. вузов.- М.: Высш. шк., 1991.- 376с.
  44. Новинки техники автоматизации ФЕСТО / Мир технологий.-2001.-№6.- с.22.1-22.20.
  45. Пашков Е.В., Осинский Ю.А., Четверкин А.А. Электropневмоавтоматика в производственных процессах: Учебное пособие.- Севастополь: Изд-во СевГУ, 1997.- 368с.
  46. Прикладна гідроаеромеханіка і механотроніка: Підручник/Яхно О.М., Луговський О.Ф., Ковалев В.А., Мовчанюк А.В., Коц І.І., Губарев О.П., Узунов О.В.- Вінниця: ВНТУ, 2015. – 680с українською мовою; № протокола метод. ради 1/11-1135 ; дата 29.01.2014
  47. Промышленные роботы: конструирование, управление, эксплуатация /В.И.Костюк, А.П.Гавриш, Л.С.Ямпольский, А.Г.Карлов.- К.: Вища шк., 1985.- 359с.
  48. Пупена О.М., Ельперін І.В. Програмування промислових контролерів у середовищі UNITY PRO: Навчальний посібник.- К.: Видавництво Ліра-К, 2013.- 376 с.
  49. Свободно программируемые контроллеры.- М.: МВТУ Фесто-Дидактик.- 1988.- 34с.
  50. Управление в технических системах с жидким и газовым компонентами: Учебное пособие/Ю.А.Абрамов, А.П.Губарев, А.В.Узунов и др.- К.: ИСМО, 1997.- 288с.
  51. Фурман И.А. Программируемые контроллеры промышленного назначения: Учебн. пособие для вузов.- К.: М-во образования Украины, 2000.- 228 с.
  52. Хессе С. Пневмоавтоматика: 99 примеров автоматизации.- ДП “Фесто”, Киев.- 2003.-120с.

53. Черкашенко М.В. Автоматизированная подготовка программ для микропроцессорных контроллеров МикроДАТ, управляющих гидроприводами технологического оборудования// Микропроцессорные средства и системы.- 1989.-№6.-С.47.

#### **Список посилань в Інтернеті фірм-виробників устаткування**

54. Asa Hydraulik: <http://www.asahydraulik.com>  
 55. Atos: <http://www.atos.com>  
 56. Bosch Rexroth AG: <http://www.boschrexroth.de>  
 57. Camozzi Pneumatika Co., Ltd.: <http://www.camozzi.com/>,  
<http://www.camozzi.ru/>  
 58. Festo: <http://www.festo.com>  
 59. Hawe: <http://www.hawe.de>  
 60. Hydac: <http://www.hydac.com>, <http://www.hydac.com.ua>  
 61. Hydraulics Supply Company: <http://www.hydraulic-supply.com/>  
 62. OMRON: <http://www.omron.com.ua>  
 63. Parker: <http://www.parker.com>  
 64. Schneider Electric: <http://www.schneider-electric.com/>, <http://www.schneider-electric.com.ua/>, <http://www.schneider-electric.ru/>  
 65. Siemens: <http://www.siemens.com>, <http://www.siemens.com.ua>  
 66. SMC: <http://www.smc.com>  
 67. Vickers: <http://www.hydraulics.eaton.com/>  
 68. ОАО «Гидропривод»: <http://www.gidroprivod.kharkov.ua>  
 69. ОАО «Гидросила»: <http://www.hydrosila.com>  
 70. ОАО «Стройгидравлика»: <http://www.hydroservis.ru>  
 71. Харьковский машиностроительный завод "ФЭД":  
<http://www.fed.kharkov.com/>

#### **(Додаткова із загальносистемних та особливих питань і підходів)**

72. Автоматизация технологических процессов и производств пищевой промышленности: Подруч./ А.П. Ладанюк, В.Г. Трегуб, І.В. Ельперін, В.Д. Цюцюра. – К. : Аграрна освіта, 2001. – 224 с.  
 73. Анисимов Н.А., Бузин А.М., Голенков Е.А. Технологические принципы разработки программного обеспечения информационно-вычислительных сетей//УСиМ.-1988.-№4.-с.86-91.  
 74. Бейко И. В., Бублик Б. Н., Зинько П. Н. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации. — К. : Вища шк., 1983. — 512 с.  
 75. Бибило П.Н., Кириенко Н.А. Сравнение способов синтеза логических схем на основе ПЛМ структур// УСиМ. – 2003.-№3. – с.46-51.  
 76. Вельбицкий И.В. Алгебра конструирования алгоритмов и программ//УСиМ.- 1987.-№6. –С.99-110.  
 77. Гідропривод з пружно-гідравлічним дозуванням рідини / О.П. Губарев, О. С. Ганпанцурова, Н.С. Дяконова, А.Ю. Космина // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – Х.: НТУ «ХПІ», 2018. – № 46(1216). –

- 39-43 С. – ISSN 2411-3441; Наукометричні БД: Web of Science; Мова публікації: українська; у співавторстві зі студентами
- 78.** Гласс Р. Руководство по надежному программированию: Пер. с англ.-М.: Финансы и статистика, 1982. – 256с.
- 79.** Губарев А.П., Литвиненко Д.В. Особенности аппаратной и программной реализации элементов памяти в системах управления дискретной гидропневмоавтоматики /В кн.: Вестник Национального технического университета Украины («КПИ») Серия машиностроение. – Киев : НТУУ, вып. 38, 2000, с.189-195.
- 80.** Губарев А.П., Пыжиков Ю.А. Механические аспекты в управляющих программах для цикловой гидропневмоавтоматики/В кн.: Вісник Сумського державного університету, Серія Технічні науки.- Суми.: СумДУ, №12 (58), 2003, с.212-223.
- 81.** Губарев О. П. Адаптація логіки керування пневматичним виконавчим модулем мехатронної системи / О. П. Губарев, О. С. Ганпанцурова // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Гідравлічні машини та гідроагрегати. – Харків : НТУ "ХПІ", 2016. – № 41 (1213). – С. 32-38.
- 82.** Губарев О. П. Багаторежимний гідропривод з випереджуючою стабілізацією температури рідини / О. П. Губарев, О. С. Ганпанцурова, В.Ю. Грішненко // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Гідравлічні машини та гідроагрегати. – Харків : НТУ "ХПІ", 2017. – № 22 (1244). – С. 15-22.
- 83.** Губарев, О.П. Дворівнева модель системи гідроприводу з паралельною структурою / О.П. Губарев, О.В. Левченко, А.В. Корчовний Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях: зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків: [вип.№6(1178)], 2016. С. 13-17.
- 84.** Диксон Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений.- М.: Мир, 1969. – 440с.
- 85.** Дослідження енергетичного балансу системи з нерегульованим насосом та клапаном різниці тисків / О. П. Губарев, О. В. Левченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 44(1216). – 47-51 С.
- 86.** Зелковиц М., Шоу А., Гэннон Дж. Принципы разработки программного обеспечения/ Пер. С англ.- М.:МИР, 1982. – 368с.
- 87.** Зюбин В.Е. Программирование информационно-управляющих систем на основе конечных автоматов: Учеб.-метод. Пособие/ В.Е. Зюбин; Новосиб. Гос. Ун-т. Новосибирск, 2006. –96с.
- 88.** Игнатьева А. В., Максимцов М. М. Исследование систем управления: Учеб. пособие. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001.
- 89.** Исаев Ю. М. Гидравлика и гидропневмопривод : Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования/ Ю. М. Исаев, В. П. Коренев. – 3-е изд. стер.. – М. : Издательский комплекс «Академия», 2013. – 176 с.
- 90.** Киндлер Е.Я. Языки моделирования/ Пер. с чеш. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 288с.
- 91.** Кириллов В.П. SSADM – передовая технология разработки автоматизированных систем//Компьютеры + программы, 1994.-№. – с.8-16.

- 92.** Кириллов В.П. Технология SSADM: методика определения требований к автоматизированной системе//Компьютеры + программы, 1994.- №3. – с.30-36.
- 93.** Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. – М. : Наука, 1994.
- 94.** Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 288с.
- 95.** Томашевський В. М. Імітаційне моделювання систем і процесів: Навч. посіб. – К. : ІСДО, 1994. – 124 с.